РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН *и* ТРАНСФОРМАТОРОВ

А. Ф. ДЕВЯТКОВ, Н. П. ВОЛОЦКИЙ,
С. А. ПИСКУНОВ, Е. Л. ШАЦ

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва — 1960

От издательства

В сельском хозяйстве эксплуатируется много электрических машин и трансформаторов.

В настоящей книге описаны ремонт и испытание асинхронных короткозамкнутых электродвигателей, синхронных трехфазных генераторов и силовых трансформаторов, приведен проверочный расчет обмоток и даны нормы расхода материалов и запасных частей на ремонтные работы.

Задача настоящей книги — помочь техникам-электрикам, электромонтерам и инженерно-техническим работникам сельскохозяйственных предприятий, занимающимся эксплуатацией и ремонтом электрических машин и трансформаторов.

Отдельные части книги написаны: А. Ф. Девятковым — разделы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19 и 23 главы II, разделы 1, 2, 3, 4, 5 и 6 главы VII; Н. П. Волоцким — разделы 10, 11, 16 и 17 главы II, разделы 7, 8, 9, 10 главы III, разделы 1 и 3 главы IV и раздел 3 главы V; С. А. Пискуновым — разделы 12, 13, 14, 15, 18, 20, 21 и 22 главы II и раздел 2 главы IV; Е. Л. Шац — главы I и VI, а также разделы 1 и 2 главы V.

Замечания о книге просьба направлять по адресу: Москва, К-31, ул. Дзержинского, 1/19, Сельхозгиз.

Глава 1

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Технологический процесс ремонта электрических машин заключается в следующем (рис. 1, 2 и 3). Машины принимают в ремонт после внешнего осмотра, при котором устанавливают их комплектность и возможность восстановления, а также после предварительных испытаний и замеров, на основе которых определяют примерный вид ремонта.

После осмотра машине присваивают ремонтный номер. Затем машину разбирают, очищают от грязи и ржавчины и выявляют неисправности. Затем отбраковывают негодные части, а остальные направляют в ремонт.

Статор и ротор продувают и обтирают концами. Для удаления грязи и масла подшипниковые щиты промывают 5-процентным водным раствором едкой щелочи (натриевой, калиевой), нагретым до 50—60°, ополаскивают водой и насухо вытирают. Подшипники качения, годные для дальнейшей эксплуатации, очищают от масла и промывают в щелочном растворе, керосине или бензине.

Степень годности деталей определяют тщательным осмотром и обмером. Результаты измерений сравнивают с предельно допустимыми размерами.

Со статора (якоря) удаляют негодную изоляцию и обмотку. Далее выполняют изоляционные работы, укладывают новую обмотку, пропитывают и сушат ее; параллельно с этим выполняют необходимые слесарно-механические и сварочные работы. Одновременно машину укомплектовывают крепежными и другими деталями. Годные или новые болты, шпильки, фланцы, роликовые и шариковые подшипники до сборки хранят в специальных ящиках.

По окончании ремонта деталей начинают сборку узлов (насаживают коллекторы и контактные кольца, напрессовывают подшипники на вал, заготавливают и собирают выводные щитки и др.). После этого производят общую сборку электрической машины, предварительное опробование и контрольные испытания. Затем машину окрашивают и снабжают новым паспортом.

Нельзя принимать в ремонт разобранные машины (отдельно статор, ротор, подшипниковые щиты и т. д.). Принятую в ремонт машину следует предварительно опробовать, чтобы выявить

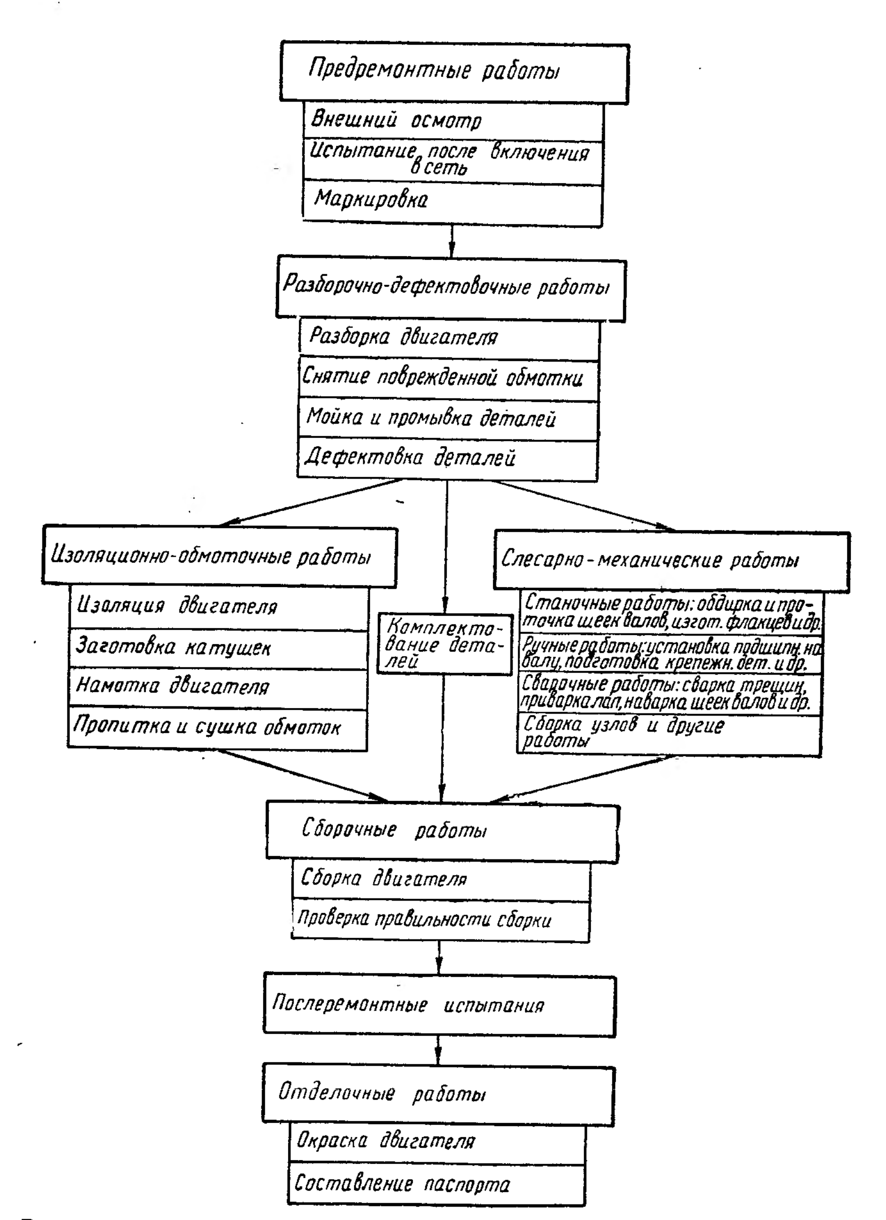


Рис. 1. Схема технологического процесса ремонта короткозамкнутых электродвигателей.

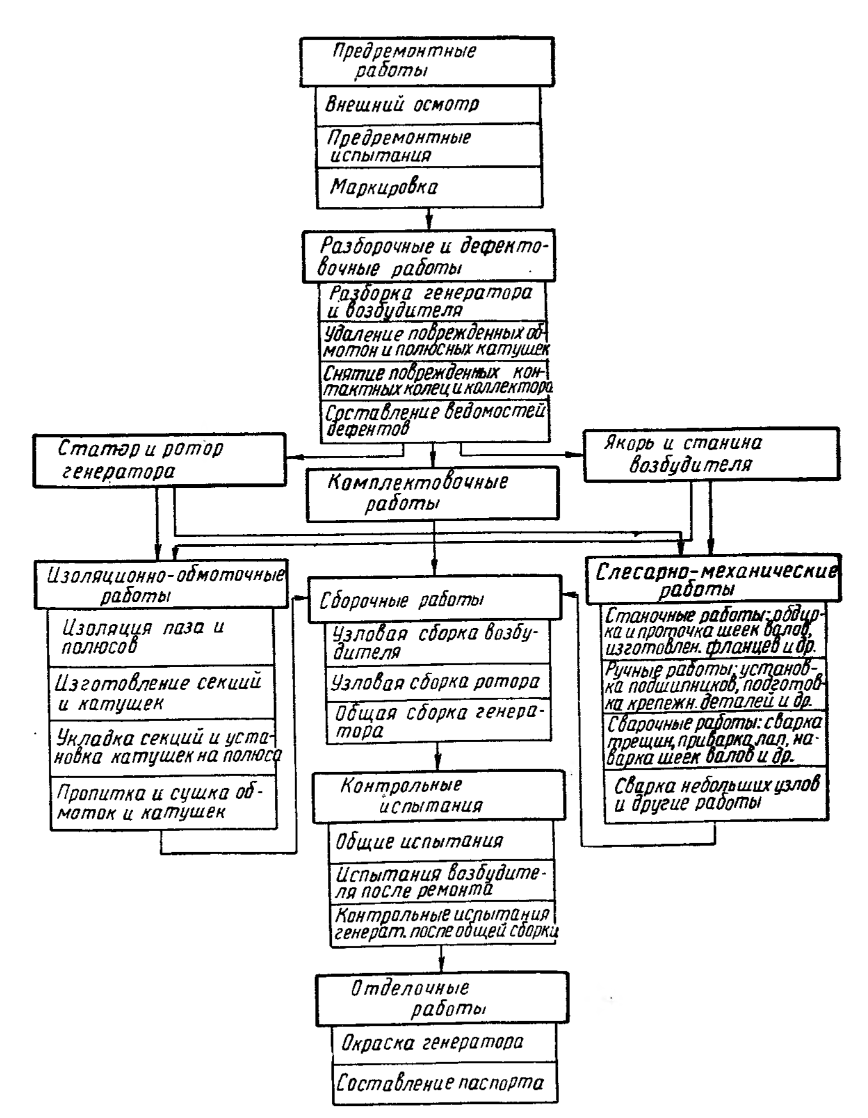


Рис. 2. Схема технологического процесса ремонта синхронных генераторов.

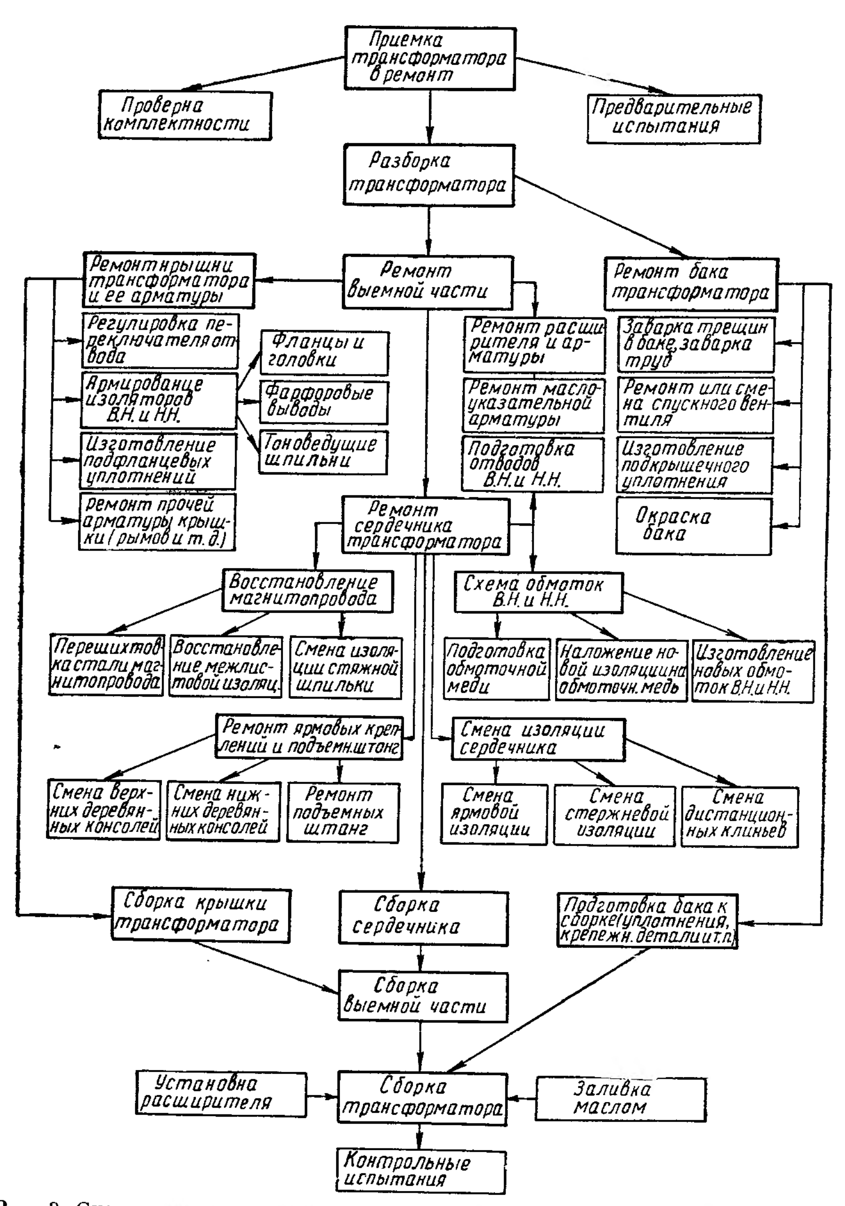


Рис. 3. Схема технологического процесса ремонта силовых трансформаторов.

неисправности, установить вид ремонта и степень необходимой разборки. При опробовании можно обнаружить неисправности обмоток и активной стали, а также другие неполадки. Во время работы двигателя нужно проверить состояние шариковых и роликовых подшипников и вентилятора.

Разборка электрической машины сводится к следующим операциям: ослабляют стопорные винты; снимают с вала шкив, шестерню и полумуфту; отвинчивают шпильки, закрепляющие фланцы подшипников качения в гнездах подшипникового щита; освободив винты, крепящие передний подшипниковый щит к статору, отодвигают щит с посадочного места легкими ударами молотка через деревянную или медную подкладку и снимают его; при необходимости задний подшипниковый щит удаляют вместе с ротором.

Чтобы предотвратить повреждение статора или ротора, при разборке электрической машины в расточку статора кладут лист картона. Для облегчения снятия обмотку прогревают электрическим током от сварочного аппарата. Если обмотка разрушена или имеет обрывы, то этот способ неприменим. После удаления негодной обмотки устраняют возможное расслоение пакета активной стали, а заусенцы в пазах зачищают напильником и выправляют продольные искривления паза.

При снятии поврежденных обмоток электрических машин устанавливают следующие основные данные для статора и ротора: форму и размеры паза, число катушечных групп в статоре, число пазов на полюс и фазу или число последовательно соединенных катушек в катушечной группе, шаг обмотки по пазам, размеры вылетов лобовых частей, форму, размеры и число деревянных клиньев, размер части катушки, размещаемой в пазах, материал и толщину изоляции в пазах, вид и способ крепления изоляции лобовых частей, материал и толщину прокладок между сторонами катушек, лежащими в одном пазу и под клиньями, размеры и форму вынутой катушки, число витков в катушке и число параллельных проводов, сечение и диаметр провода с изоляцией и без изоляции, вид изоляции или марку провода, число параллельных ветвей, схему соединения обмотки. Кроме того, сохраняют одну катушку, по форме которой устанавливают шаблон и изготавливают пробную новую.

Перед сборкой электрических машин промытые подшипниковые щиты простукивают молотком (нет ли трещин). Отремонтированные или вновь изготовленные детали тщательно пригоняют друг к другу, устанавливают на вал вентилятор, напрессовывают шариковые и роликовые подшипники. После подготовки деталей и узлов начинают общую сборку машины.

В расточку статора осторожно вводят ротор, устанавливают задний подшипниковый щит, следя за тем, чтобы конец вала с подшипником попал на посадочное место, а все отверстия для крепящих болтов в щите и в корпусе совпали. Ставят на место передний подшипниковый щит. Затем равномерно затягивают крест-накрест

болты щитов и, проверив проворачиванием вручную легкость вращения ротора, закрепляют фланцы или торцовые крышки подшипников. Выводные концы обмоток присоединяют к щитку с зажимами и соединяют их в треугольник или в звезду.

Предварительно качество сборки машины проверяют проворачиванием ротора вручную. Затем мегомметром проверяют сопротивление изоляции обмоток по отношению к корпусу и между собой. Если результаты предварительных проверок удовлетворительны, производят пробный пуск машины с замером скорости вращения. Отсутствие посторонних шумов, нормальная скорость вращения, четкая работа подшипников и т. д. указывают на удовлетворительную сборку электрической машины.

Схемы технологических процессов ремонта электрических машин и трансформаторов можно в значительной части совместить.

Технологический процесс ремонта трансформаторов заключается в следующем. Принятому в ремонт трансформатору присваивают ремонтный номер. Во время разборки выявляют неисправности и определяют объем ремонта. Перед отправкой на ремонтные участки детали очищают от грязи и ржавчины. Выемную часть трансформаторов после удаления из бака промывают струей изоляционного масла. Особое значение имеет очистка охлаждающих каналов, засорение которых приводит к перегреву и к выходу из строя обмотки; шлам, грязь и воду, оставшиеся в баке трансформатора, удаляют вместе с отработавшим маслом.

После разборки трансформатора можно ремонтировать сердечник, крышку с выводами и расширителем или бак.

Наиболее сложен ремонт сердечника, основные части которого (магнитопровод с консольными балками и обмотку с изоляцией) ремонтируют одновременно. Параллельно ремонтируют ярмовые крепления и подъемные штанги, а также подготовляют ярмовую и стержневую изоляции и клинья, сохраняющие зазоры между обмотками.

При ремонте крышки трансформатора особое внимание уделяют подготовке и смене фарфоровых вводов высокого напряжения или их ремонту (перезаливка фланцев и головок, ремонт или замена токоведущих шпилек). Затем регулируют или ремонтируют переключатель ответвлений, подготовляют новые подфланцевые уплотнения и выполняют другие мелкие работы. Проверяют бак трансформатора и заваривают трещины. Неисправный спускной вентиль ремонтируют или заменяют. Подкрышечное уплотнение на раме бака изготовляют заново. Отремонтированный бак окрашивают изнутри.

Основные узлы собирают в такой последовательности. Вначале собирают отдельно сердечник, крышку и бак трансформатора, затем сердечник и крышку трансформатора, которые образуют его выемную часть. При сборке трансформатора выемную часть опускают в бак, устанавливают расширитель на крышке,

закрепляют ее болтами, заливают свежее масло и передают трансформатор на испытание.

Организация ремонта. Ремонту предшествует составление ведомости неисправностей электрических машин. Для этого все части электродвигателей и генераторов осматривают и проверяют в соответствии с техническими указаниями. Части машин сортируют на годные, требующие ремонта и негодные. Годные части очищают, моют и подготавливают к сборке, храня их на стеллажах или в комплектовочных шкафах и ящиках. Части машин, годные для восстановления, направляют в ремонт.

Примерное содержание ремонтных работ синхронного генератора приведено в таблице 1.

Многие указанные в таблице операции относятся также и к электродвигателям.

Опыт показывает, что ремонтные работы целесообразно проводить по следующим группам:

разборка генератора и его возбудителя, очистка и мойка частей, снятие негодных обмоток и полюсных катушек, составление ведомости неисправностей и отбраковка деталей, распределение деталей машин по видам ремонта (обмотка, сварка, обработка на станках);

ремонт корпуса, подшипниковых щитов, вентилятора, полюсов и активной стали статора и ротора и смена фланцев;

ремонт вала и подшипников скольжения, контактных колец, коллектора и щеткодержателей, балансировка роторов и якорей и замена подшипников качения;

ремонт обмоток и полюсных катушек, включая замену изоляции, а также устранение неисправностей обмоток и катушек с частичной заменой их;

пропитка, сушка обмоток и полюсных катушек;

сборка машины, предварительное опробование и составление паспорта;

контрольные испытания, составление протокола испытаний, передача машины в окраску.

В зависимости от объема ремонта и его вида номенклатуру работ можно изменить или уточнить. Эти изменения позволят более равномерно загрузить рабочих в течение смены, сезона и т. п.

На первой стадии ремонта определяют его объем, составляют ведомость неисправностей и отбраковывают изношенные детали. Детали, годные для дальнейшей эксплуатации, подготавливают к хранению, до сборки чистят, моют и т. д. Детали, требующие ремонта, передают в мастерскую.

Трансформаторы ремонтируют в такой последовательности:

1) принятый в ремонт трансформатор после слива масла из расширителя и частично из трансформатора разбирают, затем сливают масло из кожуха, снимают, а при сборке вновь устанавливают крышку и расширитель, собирают трансформатор и заполняют сухим маслом;

Таблица 1

Работы по ремонту синхронного генератора

Части генератора	Основные ремонтные операции
Генератор	Разобрать генератор. Снять шкив и подшипниковые щиты. Вынуть ротор. Разобрать возбудитель. Отремонтировать статор, ротор, якорь возбудителя и другие части. Собрать генератор, надеть шкив и передать на испытание
Статор генератора и якорь возбудителя	Снять неисправную обмотку. Очистить пазы от старой изоляции. Устранить распушение активной стали и другие неисправности
Подшипниковые щиты	Очистить от загрязнения. Заварить трещины. Восстановить размеры гнезда для подшипников
Подшипники качения и капсули	Снять с вала, проверить и установить старый или новый подшипник. Исправить или заменить капсуль
Подшипники скольжения	Подготовить под заливку. Залить баббитом. Проточить, пришабрить, сделать смазочные канавки и окно для смазочного кольца. Выправить или сменить смазочные кольца.
Вал, шпоночные канавки, шейки, посадочные места	Проверить вал на прогиб и выправить. Зачистить или восстановить шпоночные канавки и подогнать шпонки. Восстановить размеры шеек и посадочных мест
Коллектор и контактные кольца	Проверить и восстановить изоляцию. Восстановить рабочую поверхность коллектора и контактных колец, включая замену пластин и колец. Присоединить обмотку к коллектору и кольцам
Обмотка статора или якоря	Изготовить катушки. Подготовить новую изоляцию пазов. Уложить обмотку и закрепить ее в пазах клиньями. Соединить схему и заварить (или запаять) соединения в обмотке. Оформить лобовые части обмотки. Пропитать и просушить обмотку
Полюса и полюсные катушки	Выправить перекосы и распушение полюсов. Изготовить и насадить новые полюсные катушки. Прикрепить полюсы с катушками к своим местам и сделать межкатушечные и другие соединения
Щеткодержатели и щетки	Проверить и заменить щеткодержатели, пружины и другие части щеткодержателей. Заменить и пригнать щетки. Сделать необходимые присоединения

2) разбирают крышку трансформатора, ремонтируют и меняют фарфоровые вводы, меняют уплотнения под фланцами и под крышкой;

3) исправляют кожух трансформатора и окрашивают его, ремонтируют расширитель, маслоуказатель, спускной вентиль или пробку и переключатель ответвлений и красят расширитель;

4) разбирают и собирают сердечник, шихтуют магнитопровод, меняют обмотки и изоляцию, крепежные части сердечника;

5) изготовляют обмотки и крепежные детали для выемной части, подготавливают изоляцию сердечника;

6) пропитывают и сушат обмотки;

7) проводят контрольные испытания трансформатора, составляют документацию по результатам испытаний.

Глава 2

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. ПРИЕМКА В РЕМОНТ И РАЗБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Электрические машины доставляют на ремонтное предприятие в собранном и полностью укомплектованном виде. Сдачу-приемку в ремонт оформляют актом.

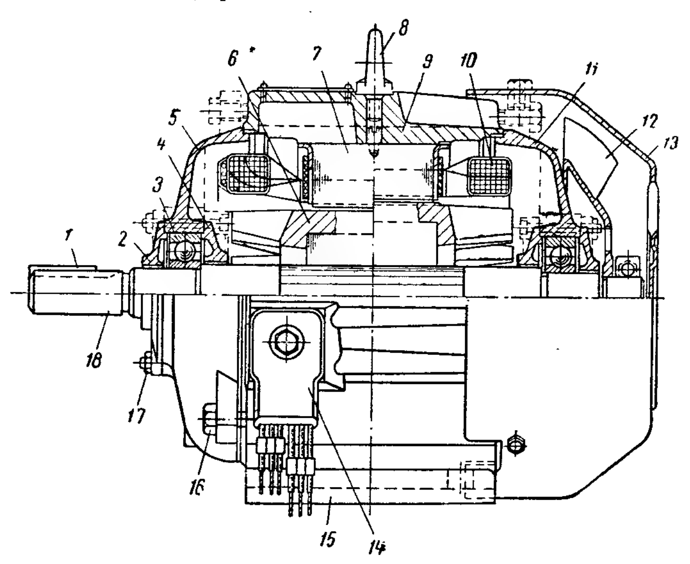


Рис. 4. Общий вид электродвигателя:

1 — шпонка; *2* — наружный фланец; *3* — шарикоподшипник; *4* — внутренний фланец; *5* — задний подшипниковый щит; *6* — ротор; *7* — пакет статора; *8* — рым; *9* — статор; *10* — обмотка статора; *11* — передний подшипниковый щит; *12* — вентилятор; *13* — кожух вентилятора; *14* — крышка выводов; *15* — лапа; *16* — болт; *17* — гайка; *18* — вал.

При наружном осмотре машины (рис. 4 и 5) проверяют основные ее части и комплектность деталей. Во время приемки выявляют возможность восстановления и, если можно, устраняют неисправности. Корпус, ротор, подшипниковые щиты и другие основные части машин маркируют.

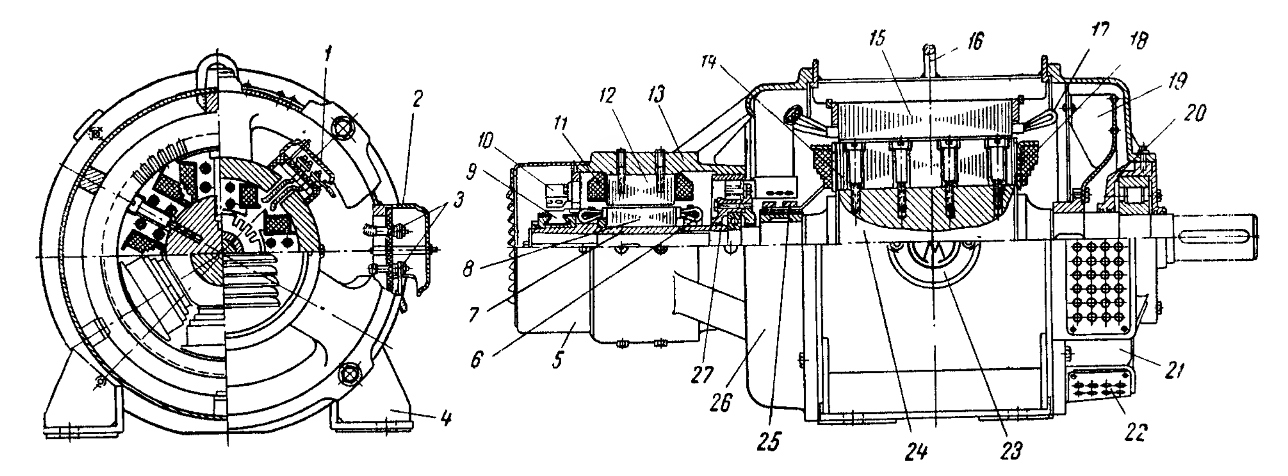


Рис. 5. Синхронный генератор СГ:

1 — коробка выводов возбудителя; *2* — коробка выводов статора; *3* — выводы обмотки: *4* — лапа; *5* — колпак; *6* — обмотка якоря; *7* — втулка якоря; *8* — якорь; *9* — коллектор; *10* — траверза; *11* — полюсная катушка; *12* — полюс возбудителя; *13* — станина возбудителя; *14* — полюс ротора генератора; *15* — активная сталь статора генератора; *16* — рым; *17* — обмотка статора; *18* — полюсная катушка; *19* — вентилятор; *20* — капсюль; *21* — задний щит; *22* — сетка; *23* — коробка выводов статора; *24* — вал ротора; *25* — контактные кольца; *26* — передний щит; *27* — стопорные кольца.

Ослабив стопорные винты, снимают при помощи трехлапчатого съемника с вала шкив, шестерню или полумуфту. У генераторов отъединяют поводки щеток контактных колец от траверзы, вынимают щетки из обоймы щеткодержателей, проверяют воздушный зазор и определяют размеры активной стали статора и ротора. Воздушные зазоры измеряют под полюсами ротора и возбудителя.

У электродвигателей единой серии отвертывают болты, крепящие кожух вентилятора, и снимают кожух и вентилятор с вала ротора; болты, крепящие подшипниковые щиты к статору; стопорные винты, крепящие капсуль, и шпильки фланцев шариковых подшипников; снимают фланцы, капсуль и подшипниковые щиты.

Болты крепления подшипниковых щитов освобождают постепенно и попеременно в двух диаметрально противоположных местах. Щиты снимают ударами молотка по ребордам через деревянную или медную прокладку. Перед снятием щитов на станине и щите делают метки, чтобы облегчить сборку машины.

Во время снятия подшипниковых щитов ротор опускают на внутреннюю поверхность статора на картонную прокладку, положенную в воздушном зазоре машины. Если этого сделать нельзя, поддерживают ротор за свободный конец вала и осторожно кладут его на внутреннюю часть статора. Ротор вынимают из статора вручную или при помощи подъемного приспособления. Шейки вала, не требующие ремонта, обертывают картоном или плотной бумагой и обвязывают.

После демонтажа подшипниковых щитов снимают подшипники качения, пользуясь стягивающим приспособлением и не допуская перекоса подшипников.

Подшипники скольжения вынимают из щитов после освобождения стопорных винтов легкими ударами молотка по деревянному бруску. При этом щит кладут так, чтобы букса щита имела твердую опору. Смазочное кольцо вынимают через окно.

Перед снятием траверзы делают риски или отмечают краской положение ее на заточке подшипникового щита или корпуса возбудителя. Контактные кольца и коллектор снимают и разбирают только при ремонте.

Прежде чем удалить катушки с полюсов возбудителя и ротора, делают схему соединений катушек и пометки на катушках и полюсах. Затем разъединяют катушки и отвертывают болты крепления полюсных сердечников.

Негодную обмотку статора удаляют, предварительно разогревая ее электрическим током до температуры 70—80°.

Ветхую обмотку, а также обмотку, покрытую слоем не поддающихся очистке осадков (цемент, масло и т. д.), перематывают. После разборки машины статор и ротор продувают сжатым воздухом и обтирают концами.

Таблица 2

Ведомость дефектов трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя

Сведения о двигателе до ремонта

Заказ №........ Заказчик............ Заводской №........

Паспорт { Завод...............; тип........; №........; мощность.......*квт*; напряжение.......*в*; ток......*а*; скорость вращения........*об/мин.*

Статор { $Д_н/Д_в$......*мм*; длина......*мм*; ......пазов......; зазор......*мм*; размер паза......*мм*; шлиц......*мм*; наименьшая ширина зубца......*мм*; тип обмотки......; число катушек........; шаг........; проводов в пазу ......по......параллельно; диаметр провода......*мм*; параллельных ветвей в пазу......; соединение фаз...... ......; вылет обмотки......*мм.*

Сведения о двигателе после ремонта

Паспорт { Тип.........; мощность........*квт*; скорость вращения........*об/мин*; напряжение.......*в*; ток......*а.*

Статор { Тип обмотки..........; число групп.........; число катушек......; шаг.....*мм*; диаметр провода.....*мм*; проводов в пазу........; в секции........; соединение катушек.............. фаз..............; вылет обмотки........*мм*; вес провода........*кг.*

№ п/п	Части, детали	Количество	Неисправности	Необходимый ремонт
1	Статор			
2	Передняя крышка			
3	Задняя »			
4	Подшипники			
5	Внутренние фланцы			
6	Внешние »			
7	Фланцевая шпилька			
8	Гайка шпилек			
9	Болты крышек			
10	Гайки			
11	Вал, шпонка			
12	Коробка выводов			
13	Зажимы			
14	Выводы			
15	Вентилятор			
16	Кожух вентилятора			
17	Болты кожуха вентилятора			
18	Винты торцовых щитов			
19	Изоляция статора			
20	Обмотка статора			

Продолжение

№ п/п	Части, детали	Количество	Неисправности	Необходимый ремонт
21	Рым-болт			
22				
23				
24				
25				
26				

«. . . .» . . . . 19. . . г.   Дефектовщик

Таблица 2а

Ведомость дефектов
синхронного генератора трехфазного переменного тока

Заводской № . . . .
Заказ № . . . . ; Заказчик . . . .

Заводской паспорт

Генератор: Завод . . . . ; тип . . . . ; № . . . . ; мощность . . . . . . *квт/ква*; напряжение . . . . . *в*; ток . . . . . *а*; скорость вращения . . . . . . *об/мин*; соединение обмоток . . . ; cos ψ . . . ; частота . . . . . *гц*; к. п. д. . . . . . %; напряжение возбуждения . . . . . . *в*; ток ротора . . . . *а*; год изготовления . . . . . . ; дополнительные данные . . . .

Возбудитель: Завод . . . . ; тип . . . . . . ; мощность . . . . . . *квт*; напряжение . . . . . *в*; ток якоря . . . . . *а*; ток возбуждения . . . . . *а*; дополнительные данные . . . .

Статор: Диаметр расточки . . . . *мм*; высота спинки . . . . *мм*; полная длина активной стали . . . . *мм*; число радиальных каналов . . . . ; ширина канала . . . . . . *мм*; число аксиальных каналов . . . . ; размеры канала . . . . *мм*; число пазов . . . . . . ; форма паза . . . . . ; размеры шлица . . . . . *мм*; размеры паза: ширина . . . . . *мм*, высота до клина . . . . . *мм*, полная высота . . . . . . *мм*.

Обмотка статора: Тип обмотки . . . . . . ; шаг обмотки . . . . . ; катушечных групп в фазе . . . . . ; соединение групп в фазе; . . . . . ; сопряжение фаз . . . . . . ; число витков в катушке . . . . . . ; всего проводов в пазу . . . . . . ; параллельных проводов . . . . . . ; активных проводов в пазу . . . . ; дополнительные данные . . . . ; размер провода: без изоляции . . . . . *мм*, с изоляцией . . . . *мм*; изоляция провода: материал . . . . . . ; пазовая изоляция (гильзовая) . . . . ; материал для изоляции лобовых частей . . . . ; вылет лобовых частей . . . . *мм*; дополнительные данные . . . .

Ротор: Конструкция . . . .; число полюсов . . . .; размеры . . . . *мм*; характер крепления (болтами, клиньями) . . . .; число полюсных башмаков . . . .; прокладки под полюсами: материал . . . .; количество . . . .; размеры . . . . *мм*; полюсные катушки: размеры . . . . *мм*: соединение . . . .;
размер меди: без изоляции . . . . *мм*;
с изоляцией . . . . *мм*;
число витков в катушке . . . .; число слоев . . . .; число витков в слое . . . .; витковая изоляция . . . .; межвитковый материал изоляции (электрокартон и др.) . . . .;
материал каркасов катушек (электрокартон, асбест) . . . .;
общая толщина на сторону . . . . . . *мм*; конструкции межполюсных соединений (болтовая, пайка) . . . .;
количество щеткодержателей на кольцо . . . .;
тип . . . .; конструкция щеткодержателей . . . .;
число щеток на кольцо . . . .; размеры . . . . *мм*;
марка щеток . . . .; дополнительные данные . . . .

№ п/п	Части и детали генератора	Количество	Неисправности	Необходимый ремонт
1	Станина статора			
2	Станина возбудителя			
3	Активная сталь статора			
4	Активная сталь ротора			
5	Обмотка статора			
6	Обмотка ротора			
7	Полюса ротора			
8	Полюса возбудителя			
9	Полюсные катушки ротора . .			
10	Полюсные катушки возбудители			
11	Вал ротора			
12	Вентилитор			
13	Щит передний			
14	Щит задний			
15	Втулка якоря			
16	Капсюль			
17	Стопорное кольцо			
18	Подшипник переднего щита			
19	Подшипник заднего щита . . .			
20	Коллектор			
21	Траверза с пальцами			
22	Щеткодержатели			
23	Электрощетки			

Продолжение

№ п/п	Части и детали генератора	Количество	Неисправности	Необходимый ремонт
24	Контактные кольца			
25	Коробка выводов генератора			
26	Коробка выводов возбудителя			
27	Рым-болт			
28	Шпонка			
29	Сетка вентиляционных окон			
30	Болты			

Заключение о состоянии и комплектности машин

. . . .
. . . .
. . . .
. . . .

Дефектовщик . . . .
«. . . .» . . . . 19. . . г.

Подшипниковые щиты и подшипники скольжения для удаления грязи и масла промывают 5-процентным водным раствором едкой щелочи, нагретым до 50—60°, после чего ополаскивают водой и насухо вытирают. Шариковые и роликовые подшипники, годные для дальнейшего использования, очищают от старой смазки и промывают в керосине и бензине. Исправные мелкие детали (болты, гайки, шпильки и т. д.) промывают, насухо обтирают или сушат, смазывают солидолом и завертывают. Каждый комплект годных мелких деталей за ремонтным номером электрической машины хранят в комплектовочном шкафу.

Все детали разобранных машин осматривают и определяют степень годности. На каждую машину набивают ремонтный номер или навешивают бирку с номером и заполняют ведомость дефектов (табл. 2 и 2а). Износившиеся и неисправные детали отбраковывают по предельным размерам.

2. РЕМОНТ КОРПУСА И СЕРДЕЧНИКОВ СТАТОРА И РОТОРА

В статоре могут быть трещины, откол лап, износ или срыв резьбы в отверстиях для крепления подшипниковых щитов.

Трещины в корпусе заваривают. Перед заваркой на кромках, образованных трещиной, снимают фаски в 3 *мм* под углом 45°. Трещины заваривают ацетилено-кислородным пламенем, разогревая корпус статора до температуры 700—800° с последующим медленным остыванием вместе с печью в течение 24—80 часов. Лучше заваривать трещины медным электродом, который обертывают полоской белой жести с обмазкой, а при ее отсутствии приме-

няют жидкое стекло. Наваренный медью шов зачищают заподлицо с основным металлом.

Отколовшуюся лапу приваривают автогенной или электросваркой. У места сварки с обеих сторон снимают фаски под углом 45° на глубину четверти толщины лапы. При заварке старых лап или приварке новых необходимо сохранить правильность подошвенной плоскости и расстояния между центрами отверстий или фундаментных болтов. Допускается приварка не более двух новых лап, расположенных по диагонали. Для повышения надежности крепления в привариваемую лапу электродвигателя большой мощности ставят один или несколько стальных ввертышей (рис. 6) диаметром, равным половине толщины лапы. Расстояние между ввертышами в зависимости от размера лапы принимают равным 40—50 *мм*.

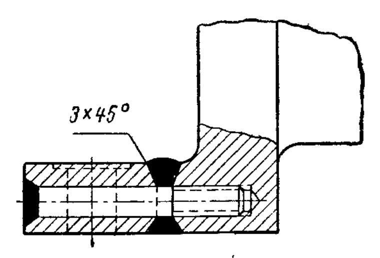


Рис. 6. Ремонт отбитой лапы у статора электродвигателя.

Состояние резьбы в отверстиях для крепления подшипниковых щитов проверяют метчиком. При срыве резьбы это отверстие рассверливают на больший диаметр и ввертывают в него стальную пробку. В завернутой пробке просверливают отверстие нужного диаметра и нарезают чистую и без сорванных ниток резьбу. Диаметр пробки в зависимости от толщины стенки станины берут на 6—10 *мм* больше диаметра резьбы, а ее длину — равной длине отверстия. Затем хвостовик пробки срезают, а чтобы пробка не отвинчивалась, ее приваривают к станине.

Неисправность сердечников статора и ротора заключается в распушении и поломке зубцов, ослаблении прессовки пакетов и посадки сердечника на валу, в чрезмерном нагреве сердечника и выгорании участков. Эти повреждения нарушают работу электрических машин.

При замене и ремонте обмоток проверяют состояние сердечников и устраняют обнаруженные недостатки.

Распушение зубцов происходит из-за неудовлетворительного их крепления в продольном направлении, а также вследствие недостаточной жесткости. Поэтому крайние листы активной стали усиливают или скрепляют электросваркой, устанавливают дополнительные нажимные шайбы или перешихтовывают сердечник. Для крепления сваркой листов крайнего пакета между собой распушенные листы сердечника стягивают. В зубцах пропиливают ножовкой наклонные пазы и заваривают их электродом из мягкой стали диаметром 2,5—3 *мм*. Заваренную поверхность обрабатывают заподлицо с сердечником.

Ослабление прессовки пакетов и посадки сердечника на валу происходит из-за перекоса или выпадения отдельных распорок в вентиляционных каналах при ослаблении стяжных болтов или

отломе и выпадении отдельных зубцов. При работе машин с такими дефектами появляются гул, шуршание, треск, а на поверхности сердечника выступает ржавый порошок. Если ослабление прессовки пакетов вызвано отколом и выпадением отдельных зубцов, на их место ставят фибровый клин. Ржавчину удаляют, а сердечник покрывают лаком. Активная сталь машины должна быть запрессована так, чтобы между ее листами нельзя было поместить лезвие ножа.

Если для подпрессовки нельзя использовать подтяжку нажимных шайб, то между листами в зубцах забивают тонкие клинья из фибры или гетинакса. Клинья забивают ниже поверхности железа, а для предупреждения выскакивания их близлежащий лист загибают на верхнюю часть клина.

В зависимости от конструкции машины пакеты подпрессовывают подтягиванием гаек на стяжных шпильках, а если пакеты закреплены поперечными шпонками, то шпонку со стороны сердечника выбивают, снимают нажимную шайбу, подкладывают под нее несколько листов и снова запрессовывают сердечник.

Нагрев сердечников и выгорание участков происходят из-за вмятин, заусенцев и других механических повреждений, порчи изоляции стяжных болтов, а также вследствие пробоя изоляции обмотки на корпус. Нагрев обнаруживают по цветам побежалости на отдельных местах сердечника. Обнаруженные заусенцы зачищают. Стяжные болты при порче изоляции переизолируют накаткой на болт микафолия и защитного слоя бумаги, а для машин малой мощности — электрокартона с последующей промазкой клеящим лаком и запеканием.

Изоляцию стяжных болтов от корпуса проверяют мегомметром с последующим испытанием на пробой при напряжении 1000 *в*.

Для устранения прогаров в сердечнике вынимают частично или полностью из пазов обмотку, а затем вырубают оплавленное место с последующей его обработкой напильником или шлифовальным камнем. После этого обработанное место зачищают шабером по слоям листов и пульверизатором нагнетают в зазоры между листами жидкий лак.

В случае порчи обмотки из-за высокой температуры сердечника перед укладкой новой обмотки его испытывают на нагрев под действием вихревых токов. Для этого на статор наматывают несколько витков гибкого провода, через который пропускают переменный ток. В статоре создается магнитный поток и поврежденные места нагреваются. Если разница между температурами отдельных зубцов превысит 30°, то такой сердечник нужно разобрать и поставить новую изоляцию.

3. РЕМОНТ ВАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Возможны следующие неисправности вала электрической машины: искривление, задиры или риски на поверхности шеек, а также их износ, поперечные и продольные трещины, повреж-

дения шпоночной канавки под шкив и повреждения конца вала.

Искривление обнаруживают индикатором. Для этого к вращающемуся валу подводят мел или цветной карандаш, закрепленный в суппорте токарного станка. На выпуклой части вала мел или карандаш оставят след.

Вал правят под прессом или на токарном станке. Чтобы не смять вал, под конец рычага подкладывают деревянную подкладку. Необходимое давление создается рычагом, который кладут на призму станка, защищая ее от повреждения другой деревянной подкладкой.

При изгибе вала до 0,10 *мм* на 1 *м* длины, но не свыше 0,20 *мм* на всю длину исправлять вал не обязательно. При искривлениях до 0,3% длины вал рекомендуется править вхолодную, а при бóльших изгибах — с нагревом. Предварительно вал правят в кузнице с точностью не менее 1 *мм* на 1 *м* длины. Затем места обработки обтачивают и шлифуют.

Задиры или риски на поверхности шеек, площадь которых не превышает 3—4% их поверхности, устраняют шабером и наждачной шкуркой. Если же площадь задиров больше указанной величины, их устраняют обточкой и шлифовкой шеек. После обработки диаметр шеек можно уменьшить на величину не более 5—6% от номинальной. При бóльших износах шейки вала наваривают, обтачивают и шлифуют. Перед наваркой поверхность их очищают до блеска и наносят слой металла толщиной не менее 1,5—2,5 *мм*. Всю неремонтируемую поверхность во время наварки необходимо охладить. Для этого вал погружают в воду. Наваренный шов должен быть чистым, плотным, без трещин и пережога.

Перед обтачиванием наваренных шеек проверяют биение вала по неизношенной поверхности, которое не должно превышать 0,05 *мм*. Допустимая овальность шейки 0,014—0,026 *мм*, а конусность — 0,03 *мм*. Овальность измеряют, как наибольшую разность диаметров в одном и том же радиальном сечении шейки вала, а конусность — как наибольшую разность диаметров шейки в одном и том же осевом сечении вала на длине 150 *мм*. Если шейка по длине короче, ее пересчитывают на указанную оптимальную величину. Так, если наибольший диаметр d_1 равен 30,12 *мм*, наименьший d_2 — 30,10 *мм*, а длина шейки вала $L = 50$ *мм*, то конусность шейки после пересчета на длину $L = 150$ *мм* будет равна: $(30{,}12—30{,}10)\frac{150}{50} = 0{,}06$ *мм*. Отклонения диаметров шеек под подшипники качения должны находиться в пределах, указанных в таблице 3.

Если установлены подшипники скольжения, то конусность и овальность шеек не должна быть больше 0,05 *мм*. Шейки валов трехфазных асинхронных короткозамкнутых электрических двигателей типа А, АЛ, АО, АД и Р мощностью до 30 *квт* после

Таблица 3

Отклонения диаметров шеек под подшипники качения

Номинальный диаметр вала (в *мм*)	Отклонения диаметра шейки вала (в *мм*)	
	верхний предел	нижний предел
Свыше 10 до 18	+0,014	+0,002
» 18 » 30	+0,017	+0,002
» 30 » 50	+0,020	+0,003
» 50 » 80	+0,023	+0,003
» 80 » 120	+0,026	+0,003

Таблица 4

Размеры шеек валов электрических двигателей мощностью до 30 *квт*

Электродвигатели		Диаметр шеек вала под подшипник (в *мм*)					
		со стороны привода			со стороны, противоположной приводу		
тип	скорость вращения (в *об/мин*)	основной размер	допуски верхний	допуски нижний	основной размер	допуски верхний	допуски нижний
А, АЛ, А031 и 32	3000/1500/1000	20	0,017	0,002	20	0,017	0,002
А, АЛ, А041 и 42	3000/1500/1000	30	0,020	0,003	30	0,020	0,003
А, АЛ, А051 и 52	3000/1500/1000	40	0,020	0,003	40	0,020	0,003
А61 и 62; А062 и 63	3000	40	0,020	0,003	40	0,020	0,003
А61 и 62; А062 и 63	1500/1000 750	50	0,023	0,003	50	0,023	0,003
А71 и 72; А072 и 73	3000	50	0,023	0,003	50	0,023	0,003
А71 и 72; А072 и 73	1500/1000/750	60	0,023	0,003	60	0,023	0,003
А81 и 82; А082 и 83	3000	60	0,023	0,003	60	0,023	0,003
А81 и 82; А082 и 83	1500 1000/750	70	0,023	0,003	70	0,023	0,003
АД21 и 22	3000/1500/1000/750	25	0,017	0,002	17	0,014	0,002
АД31 и 32	3000/1500/1000/750	30	0,020	0,003	25	0,019	0,002
АД41 и 42	3000/1500/1000/750	35	0,020	0,003	30	0,020	0,003
АД51 и 52	3000/1500/1000/750	45	0,020	0,003	35	0,020	0,003
Р41 и 42	1500/1000/750	35	0,020	0,003	35	0,020	0,003
Р51, Р52 и 53	1500/1000/750	45	0,020	0,003	45	0,020	0,003

наварки обрабатывают до размеров, указанных в таблице 4, а шейки синхронных генераторов типа С, СГ и ВСГС мощностью до 100—150 *квт* — до размеров, указанных в таблице 5.

При обработке шеек нельзя подрезать галтели. Переход к закруглениям должен быть плавным и без уступов, а радиус соответствовать радиусу внутренней обоймы подшипника. Размеры галтелей валов и фасок втулок для подшипников скольжения указаны в таблице 6.

Трещины вала заваривают. Допускается заварка поперечных трещин, глубина которых не превышает 10—15% диаметра вала, и продольных несквозных глубиной до 20% диаметра вала и длиной до 20% размера вала. Наваренный металл обрабатывают заподлицо с основной поверхностью.

Таблица 5

Размеры шеек валов синхронных генераторов мощностью до 100—150 *квт*

Тип генератора	Диаметр шеек вала под подшипник (в *мм*)					
	со стороны привода			со стороны, противоположной приводу		
	основной размер	допуски		основной размер	допуски	
		верхний +	нижний +		верхний +	нижний +
С-81-4	70	0,030	0,010	50	0,020	0,003
С-82-4	70	0,030	0,010	50	0,020	0,003
СГ-15/6	70	0,030	0,010	50	0,020	0,003
СГ-25/6	70	0,030	0,010	50	0,020	0,003
СГ-35/6	80	0,035	0,012	60	0,023	0,003
СГ-45/6	80	0,035	0,012	60	0,023	0,003
СГ-60/6	80	0,035	0,012	60	0,023	0,003
ВСГС-50/8	90	0,035	0,012	80	0,026	0,003

Таблица 6

Размеры галтелей валов и фасок втулок для подшипников скольжения (в *мм*)

Наименование	Диаметр вала (в *мм*)			
	30—50	60—70	70—100	100—150
Радиус галтелей	2,0	2,5	3,0	4,0
Фаски втулок (вкладышей)	2,5	3,0	4,0	5,0

Повреждение шпоночной канавки на валу ротора под шкив устраняют заваркой или наваркой с предварительной укладкой в старую канавку медной шпонки.

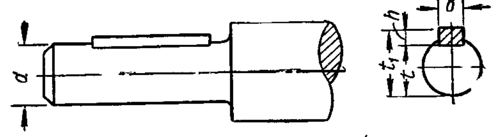


Рис. 7. Шпонки валов электрических машин.

Заваренную шейку обтачивают на токарном станке, предварительно проверив, нет ли биения вала; фрезеруют новую шпоночную канавку и зачищают ее. Ось симметрии шпоночной канавки и ось вала должны лежать в одной плоскости и совпадать с осью симметрии старой шпоночной канавки. Смещение канавки допускается не более 0,1 *мм*. Боковые стенки шпоночной канавки должны быть ровными и параллельными друг другу. Неисправности шпоночных канавок устраняют увеличением их ширины (не более 15% от нормального размера).

При больших износах ставят новые шпонки. Допустимые размеры восстановленных или новых шпонок приведены в таблице 7 (рис. 7), составленной по ОСТ/НКМ 4084.

Поврежденный конец вала обтачивают, снимают фаску 1 × 45° и восстанавливают центр. Для этого неповрежденный конец встав-

Таблица 7

Допустимые размеры шпонок (в *мм*)

Диаметр вала d (в *мм*)	Размер шпонок $b \times h$	t	t_1	Диаметр вала d (в *мм*)	Размер шпонок $b \times h$	t	t_1
До 10	3 × 3	Д — 2	Д + 1,2	48—55	16 × 10	Д — 5	Д + 5,3
10—14	4 × 4	Д — 2,5	Д + 1,7	55—65	18 × 11	Д — 5,5	Д + 5,8
14—18	5 × 5	Д — 3	Д + 2,2	65—78	20 × 12	Д — 6	Д + 6,3
18—24	6 × 6	Д — 3,5	Д + 2,7	78—90	24 × 14	Д — 7	Д + 7,3
24—30	8 × 7	Д — 4	Д — 3,3	90—105	28 × 16	Д — 8	Д + 8,4
30—36	10 × 8	Д — 4,5	Д — 3,8	105—120	32 × 18	Д — 9	Д + 9,4
36—42	12 × 8	Д — 4,5	Д + 3,8	120—140	36 × 20	Д — 10	Д + 10,4
42—48	14 × 9	Д — 5	Д + 4,3	140—170	40 × 22	Д — 11	Д + 11,4

Таблица 8

Размеры отремонтированных валов (в *мм*)

Диаметр	Длина	Диаметр	Длина	Диаметр	Длина	Диаметр	Длина
6	16	22	50	42	110	80	170
8	20	24	60	45	110	85	170
10	23	25	60	48	110	90	170
12	30	28	60	50	110	95	170
14	30	30	80	55	110	100	210
16	40	32	80	60	140	110	210
18	40	35	80	65	140	120	210
19	50	38	80	70	140	130	250
20	50	40	110	75	140	140	250

Таблица 9

Допустимые отклонения номинального диаметра конца вала после ремонта (в *мм*)

Номинальный диаметр	Пределы отклонения диаметра конца вала	
	верхний	нижний
10—18	0	—0,035
18—30	0	—0,045
30—50	0	—0,050
50—80	0	—0,060
80—120	0	—0,070

ляют в патрон токарного станка, а поврежденный — в люнет. Конические концы вала перетачивают, если можно сдвинуть шкив или муфту ближе к подшипниковому щиту машины. Отремонтированные валы должны соответствовать размерам, указанным в стандартах (ГОСТ 3222—52) для новых электрических машин (табл. 8 и 9).

4. СМЕНА ШАРИКОВЫХ И РОЛИКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Степень годности подшипников определяют внешним осмотром и замером. Если необходима только замена смазки, подшипники предварительно промывают в двух ваннах. При первой промывке в керосине удаляется смазка и приставшая к подшипникам грязь. Во второй ванне, наполненной бензином с примесью 5—8% (по объему) минерального масла, подшипники промывают до полной очистки.

Изношенность подшипников определяют измерением монтажных диаметров: внутреннего (индикаторным нутромером) и наружного (микрометром). Допустимые отклонения монтажных диаметров 0,01—0,02 *мм*. Одновременно проверяют величину осевого и радиального зазоров.

Для измерения осевого зазора шариковый подшипник укладывают наружной обоймой на два металлических бруска так, чтобы его внутренняя обойма свободно провисала. Затем на внутреннюю обойму кладут металлическую пластину, в середину которой упирают наконечник индикатора. Прижимая к брускам наружную обойму подшипника, смещают внутреннюю обойму вверх до отказа. Показание индикатора дает величину осевого зазора.

Чтобы измерить радиальный зазор, закрепляют внутреннюю обойму подшипника при помощи накладки и гайки. Наконечник индикатора устанавливают на верхнюю часть наружной обоймы, которую перемещают вверх относительно неподвижно закрепленной внутренней обоймы. Величину радиального зазора определяют по индикатору. Предельно допустимый осевой зазор в подшипниках равен 0,2—0,5 *мм*.

Подшипники выбраковывают при следующих повреждениях, определяемых наружным осмотром: сколы или трещины; забоины или вмятины на поверхностях беговых дорожек и тел вращения шариков и роликов; выкрашивание или шелушение поверхностей беговых дорожек и тел вращения; цвета побежалости на поверхности колец и шариков или роликов; царапины или глубокие риски, направленные поперек качения шариков или роликов; повреждение посадочных поверхностей, при котором нарушается нормальная посадка подшипников на валу и в корпусе; торможение; стук или заедание подшипника при вращении от руки. Шум в подшипниках качения при нормальном нагреве во время работы под нагрузкой не может служить основанием для их смены. Регули-

руемые шариковые радиально-упорные и роликовые подшипники сменяют, если у собранного подшипника нельзя отрегулировать установочный зазор.

При замене подшипников могут встретиться следующие случаи (рис. 8):

1) диаметр отверстия внутренней обоймы подшипника-заменителя не соответствует диаметру шейки вала; в этом случае внутреннюю обойму подшипника напрессовывают на вал с внутренней ремонтной втулкой;

2) диаметр наружной обоймы подшипника не соответствует диаметру гнезда в корпусе; в данном случае подшипник запрессовывают в корпус с наружной ремонтной втулкой; при этом наружный диаметр ремонтной втулки должен соответствовать диаметру гнезда в корпусе, а отверстие — диаметру наружной обоймы подшипника;

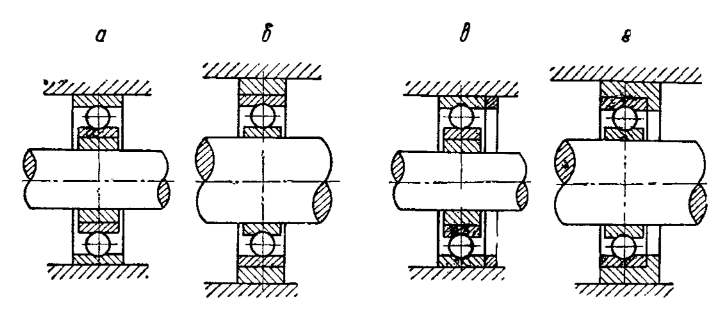


Рис. 8. Установка шариковых и роликовых подшипников с ремонтными втулками и кольцами:

а — внутренняя втулка; *б* — наружная втулка; *в* — упорное кольцо; *г* — упорное кольцо вместе с наружной втулкой.

3) ширина подшипника-заменителя и его диаметр внутренней обоймы не соответствуют ширине основного подшипника и диаметру шейки вала; в этом случае берут упорную шайбу, наружный диаметр которой должен соответствовать диаметру гнезда, и ставят рядом с подшипником, который напрессовывают на вал с ремонтной втулкой;

4) диаметр наружной обоймы подшипника-заменителя и его ширина не соответствуют наружному диаметру и ширине основного подшипника; в этом случае подшипник напрессовывают на вал или в корпус гнезда вместе с ремонтной втулкой, диаметр и ширина которой должны соответствовать основному подшипнику; ремонтную втулку изготовляют с буртиком, ширина которого равна разности ширины основного подшипника и заменителя.

При ремонте электродвигателей подшипники можно выбирать по таблице 10, а при ремонте генераторов — по таблице 11.

Таблица 10

Подбор подшипников-заменителей при ремонте электродвигателей

Подшипник	№ подшипника	Размеры (в *мм*)			При замене подшипника дополнительно поставить: упорное кольцо УК, внутреннюю втулку ВВ, наружную втулку НВ
		внутренний диаметр	наружный диаметр	ширина	
1. Основной	302	15	42	13	—
Заменяющий	1302	15	42	13	—
»	202	15	35	11	УК; НВ
»	1202	15	25	11	УК; НВ
2. Основной	303	17	47	14	—
Заменяющий	1303	17	47	14	—
»	203	17	40	12	УК; НВ
»	1203	17	40	12	УК; НВ
»	204	20	47	14	ВВ
»	1204	20	47	14	ВВ
3. Основной	305	25	62	17	—
Заменяющий	1305	25	62	17	—
»	205	25	52	15	УК; НВ
»	1205	25	52	15	УК; НВ
4. Основной	306	30	72	19	—
Заменяющий	1306	30	72	19	—
»	206	30	62	16	УК; НВ
»	1206	30	62	16	УК; НВ
»	207	35	72	17	УК; ВВ
»	1207	35	72	17	УК; ВВ
5. Основной	307	35	80	21	—
Заменяющий	1307	35	80	21	—
»	207	35	72	17	УК; НВ
»	1207	35	72	17	УК; НВ
»	208	40	80	18	УК; ВВ
»	1208	40	80	18	УК; ВВ
6. Основной	308	40	90	23	—
Заменяющий	1308	40	90	23	—
»	50 808	40	90	23	—
»	208	40	80	18	УК; НВ
»	1208	40	80	18	УК; НВ
»	50 208	40	80	18	УК; НВ
»	2208	40	80	18	УК; НВ
»	210	50	90	20	УК; ВВ
»	1210	50	90	20	УК; ВВ
»	1508	40	80	23	НВ
»	1510	50	90	23	ВВ
7. Основной	309	45	100	25	—
Заменяющий	1309	45	100	25	—
»	209	45	85	19	УК; НВ
»	1209	45	85	19	УК; НВ
»	211	55	100	21	УК; ВВ
»	1211	55	100	21	УК; ВВ
8 Основной	310	50	110	27	—
Заменяющий	1310	50	110	27	—

Подшипник	№ подшипника	Размеры (в *мм*)			При замене подшипника дополнительно поставить: упорное кольцо УК, внутреннюю втулку ВВ, наружную втулку НВ
		внутренний диаметр	наружный диаметр	ширина	
9. Основной	312	60	130	31	—
Заменяющий	1312	60	130	31	—
»	212	60	110	22	УК; НВ
»	1212	60	110	22	УК; НВ
»	215	75	130	25	УК; ВВ
»	1215	75	130	25	УК; ВВ
»	1512	60	110	28	УК; НВ
10. Основной	314	70	150	35	—
Заменяющий	1314	70	150	35	—
»	214	70	125	24	УК; НВ
»	1214	70	125	24	УК; НВ
»	217	85	150	28	УК; ВВ
»	1217	85	150	28	УК; ВВ
11. Основной	2312	60	130	31	—
»	2212	60	110	22	УК; НВ
12. Основной	2314	70	150	35	—
Заменяющий	2214	70	125	24	УК; НВ
13. Основной	304	20	52	15	—
Заменяющий	1304	20	52	15	—
»	205	25	52	15	ВВ
»	1205	25	52	15	ВВ

Перед установкой подшипника шейку вала и корпус промывают бензином, мелкие неровности и заусенцы на посадочных поверхностях устраняют шлифовальной шкуркой с последующей промывкой в керосине. Новые шариковые и роликовые подшипники перед монтажом также промывают бензином. Если же подшипники устанавливают в корпус с жидкой смазкой, а упаковка их не была повреждена, подшипники можно не промывать.

Шариковые и роликовые подшипники ставят на вал с напряженной посадкой (табл. 12).

Установка шариковых и роликовых подшипников в подшипниковый щит должна соответствовать плотной посадке (табл. 13).

Перед монтажом подшипники нагревают в горячей масляной ванне с температурой 90°, подвешивают их на крюке или кладут на асбестовые прокладки или деревянные бруски, помещенные на дне ванны. Нагретые подшипники устанавливают на место при помощи приспособления или же ударами молотка по кольцу через деревянный клин из твердой породы дерева или отрезок трубы из красной меди или железа. После монтажа корпус шариковых

Таблица 11

Подбор подшипников-заменителей при ремонте генераторов

Подшипник	№ подшипника	Размеры (в *мм*) внутренний диаметр	наружный диаметр	ширина	При замене подшипника дополнительно поставить упорное кольцо УК, внутреннюю втулку ВВ, наружную втулку НВ
1. Основной	210	50	90	20	
Заменяющий	1 210	50	90	20	
»	50 210	50	90	20	
»	710	50	80	11	УК; НВ
2. Основной	212	60	110	22	
Заменяющий	1 212	60	110	22	
3. Основной	316	80	170	39	
Заменяющий	216	80	140	26	УК; НВ
»	1 216	80	140	26	УК; НВ
»	1 516	80	140	33	УК; НВ
»	1 316	80	170	39	
4. Основной	2 314	70	150	35	
Заменяющий	2 214	70	125	24	УК; НВ
»	2 217	85	150	28	УК; ВВ
5. Основной	3 618	90	190	64	
Заменяющий	3 518	90	160	40	УК; НВ
»	2221	105	190	36	УК; ВВ

Таблица 12

Посадка шариковых и роликовых подшипников на вал, работающий со скоростью до 1500 *об/мин* (в *мм*)

Номинальный диаметр	Отклонения внутреннего диаметра подшипника		Отклонения вала		Натяги	
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	наибольший	наименьший
От 10 до 18	0	—0,010	+ 0,014	+ 0,002	0,024	0,002
» 19 » 30	0	—0,010	+ 0,017	+ 0,002	0,027	0,002
» 31 » 50	0	—0,012	+ 0,020	+ 0,003	0,032	0,003
» 51 » 80	0	—0,016	+ 0,023	+ 0,003	0,038	0,003
» 81 » 120	0	—0,020	+ 0,026	+ 0,003	0,046	0,003

и роликовых подшипников на $^2/_3$ свободного пространства заполняют смазкой. Расход смазки при единовременной заправке электрических машин приведен в таблице 14.

Рекомендуемые смазки для шариковых и роликовых подшипников электрических машин и допустимый заменитель приведены в таблице 15.

Таблица 13

Установка шариковых и роликовых подшипников в подшипниковый щит (в *мм*)

Номинальный диаметр	Отклонения наружного диаметра подшипника		Отклонения отверстия		Натяги	
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхний	нижний
От 30 до 50	0	−0,011	−0,008	+0,018	0,008	−0,029
» 51 » 80	0	−0,013	−0,010	+0,010	0,010	−0,038
» 81 » 120	0	−0,015	−0,012	+0,023	0,012	−0,038

Таблица 14

Расход смазки на единовременную заправку электрических машин

Мощность (в *квт*)	Расход смазки (в *кг*)	Мощность (в *квт*)	Расход смазки (в *кг*)	Мощность (в *квт*)	Расход смазки (в *кг*)
До 0,5	0,05	7—15	0,20—0,25	40—50	0,40—0.50
0,5—3	0.10—0,15	15—20	0,25—0,30	50—75	0,50—0,70
3—5	0,15—0.20	20—30	0,30—0,35	75—100	0,70—0,80
5—7	0,15—0,20	30—40	0,35—0,40		

Таблица 15

Смазка для шариковых и роликовых подшипников электрических машин

Марка смазки	Применение	Смазка-заменитель
Универсальная, тугоплавкая, водостойкая УТВ (смазка 1—13 жировая)	Для подшипников качения, работающих при рабочей температуре до 100°. Для мощных электрических машин, работающих с большими нагрузками и скоростями	Консталины УТ-1; УТ-2 или УТС-1
Консталины УТ 1, УТ-2 или УТС-1	Для подшипников качения, работающих при рабочей температуре до 110° в условиях нормальной влажности. Для электрических машин, работающих со скоростью вращения вала до 3000 *об/мин*	—
Солидол Л	Для легко нагруженных подшипников качения, работающих при средних и выше средних скоростях и при рабочей температуре подшипников до 60°	Солидол Т

Марка смазки	Применение	Смазка-заменитель
Солидол Т	Для подшипников качения, работающих при средней и выше средней нагрузках, при небольших и средних скоростях и при рабочей температуре подшипников до 75°	—

При испытаниях подшипников необходимо следить, чтобы нагрев их не превышал температуру окружающего воздуха более чем на 45—60°.

5. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Ремонт подшипников состоит из следующих операций: выплавления старого баббита, очистки вкладышей, лужения, заливки вкладышей баббитом, расточки и шабровки.

Старый баббит выплавляют в графитовом тигле или чугунном котелке на горне или паяльной лампой при температуре 450—470°. Поверхность вкладыша должна быть чистой, без остатков старого баббита, который удаляют паклей, лудильной лопаткой или асбестовой щеткой.

Перед лужением вкладыши очищают от грязи стальной щеткой, а от ржавчины — травлением в 10—15-процентном растворе серной кислоты при комнатной температуре в течение 5—10 *мин* и промывают в горячей воде. Для обезжиривания вкладыши погружают в 10-процентный раствор каустической соды при 80—90° на 10 *мин*, а затем промывают в течение 1—2 *мин* в горячей воде при температуре 80—90°.

Внутреннюю поверхность вкладыша обрабатывают травленой соляной кислотой (флюсом), после чего погружают в расплавленный припой ПОС-30 или натирают (подогретый вкладыш) палочкой припоя. Перед погружением наружную поверхность вкладыша покрывают меловой пастой. Температура расплавленного припоя ПОС-30 должна быть равна 270—350°. Необлуженные места зачищают шабером, посыпают нашатырем или смачивают флюсом и вновь облуживают. Остатки припоя удаляют паклей или асбестовой щеткой. Луженая поверхность должна быть без пятен и иметь ровный зеркальный вид.

Для заливки вкладышей и втулок применяют оловянистые баббиты Б-83 и Б-16. Старый баббит можно использовать как добавку к новому (не более 30—50%). По данным Харьковского электромеханического завода (ХЭМЗ) баббит Б-16 применяют при скоростях на окружности шейки вала до 5 *м/сек*, а при скоростях выше 5 *м/сек* — баббиты с большим содержанием олова.

Баббит Б-83 перед заливкой нагревают до температуры 400—420°, а другие — от 440 до 470°.

Необходимую температуру определяют следующим образом. Сосновую или березовую лучину погружают в расплавленный баббит. Если лучина обугливается до темно-коричневого цвета, температура баббита нормальная. Если лучина обугливается дочерна или вспыхивает, баббит перегрет. Баббит начинает плавиться при температуре 230—240°.

Перед заливкой отверстия для смазки у вкладышей закрывают асбестовыми пробками. Время между концом лужения и началом заливки должно быть не более 10 *сек*.

Поверхность залитых вкладышей должна иметь ровный, тусклосеребристый цвет. Трещины, наплывы, шлаковые включения и рыхлость баббита при заливке не допускаются. При простукивании вкладышей, залитых баббитом, должен быть слышен чистый, металлический звук, без дребезжания.

Количество баббита для заливки вкладышей или втулок определяют по наименьшим значениям припусков на обработку (табл. 16).

Таблица 16

Наименьшие значения припусков вкладышей и втулок (в *мм*)

Диаметр вкладыша	Толщина стенки	Припуск на одну сторону
До 50	6—10	1—3
50—100	10—14	4—6

Для заливки вкладышей нормальных электрических машин применяют баббит Б-16 и сплав алькусин Д. Для лучшего соединения сплава алькусина Д со стенками стального или чугунного вкладыша на внутренней его поверхности вытачивают канавки с отлогими краями. Перед заливкой алькусина, нагретого до 750—800°, вкладыш обезжиривают в 10-процентном растворе каустической соды, после чего нагревают до 500—550° и очищают стальной щеткой. Вкладыш заливают на приборе для заливки баббитом, но с чугунным сердечником.

После заливки вкладыши или втулки растачивают под размеры шеек вала на универсальном расточном или токарном станке и пришабривают. Припуск на шабровку для баббитовых вкладышей не должен превышать по диаметру 0,2 *мм*, для бронзовых вкладышей — 0,1 *мм* и для вкладышей, залитых алькусином, — 0,1 *мм*.

Допуски на расточку и шабровку вкладышей и втулок, в зав симости от диаметра вала, указаны в таблице 17.

Если зазор между вкладышем и валом превышает максимальный зазор более 25%, втулки заменяют или перезаливают бабби-

том и растачивают. В подшипниках с разъемными вкладышами при кольцевой смазке зазор между шейкой вала и верхним вкладышем должен быть равен 0,15—0,20% диаметра шейки вала. Боковые зазоры между шейкой вала и вкладышем должны быть в 1,5 раза больше верхнего зазора.

Таблица 17

Допуски на расточку и шабровку вкладышей и втулок (в *мм*)

Номинальный диаметр	Зазор при скорости вращения вала до 1000 *об/мин*	Зазор при скорости вращения вала более 1000 *об/мин*
18—30	0,040—0,094	0,065—0.129
30—50	0,050—0,112	0,075—0,142
50—80	0,065—0,135	0,096—0.175
80—120	0,080—0,163	0,120—0.213

Разъемные вкладыши пришабривают отдельно для каждой половины. Они считаются готовыми, если при прижимании половины вкладыша к шейке вала окрашивается не менее 90% поверхности или когда число точек соприкосновения между вкладышем и шейкой вала не менее 8 на 1 *см*². После этого протачивают маслоулавливающие канавки, прорезают окна для смазочных колец и просверливают спускные отверстия, а для вновь выточенных бронзовых вкладышей — углубление для стопорного болта. Канавки после обработки должны иметь сглаженные углы и не доходить до торца вала. Отверстия для стока масла сверлят в 2—3 местах на каждой кольцевой канавке в нижней ее части. Глубина сверления под стопорный болт не должна превышать половины толщины вкладыша или чугунного корпуса.

Таблица 18

Размеры смазочных колец, распределительных и маслоулавливающих канавок для подшипников скольжения (в *мм*)

Диаметр шейки вала (цапфы)	Размеры канавок		Размеры смазочных колец					Радиус закругления	Расстояние канавок от края вкладыша	
	ширина	глубина	ширина кольца	ширина окна	толщина кольца	Диаметр кольца: для бронзовых вкладышей	Диаметр кольца: для вкладышей, залитых баббитом		*Н*	*П*
10—15	3	1,5	5	6	1,5	25—30	25—35	1	3	6
16—20	3	1.5	8	10	2	35—40	40—45	1.5	7	10
22—30	3	1,5	10	12	2	45—55	50—60	2.0	9	12
32—45	3,5	2,0	11	13	3	60—85	70—90	2,5	11	14
48—68	4	2,0	12	15	4	90—115	90—125	3.0	13	16
70—100	5	2,5	14—16	18—20	5	120—150	130—180	4,0	17	22
105—150	6	3,0	16—20	20—24	6	160—230	200—270	5,0	21	26

Таблица 19

Смазка для подшипников скольжения

Скорость вращения (в *об/мин*)	Мощность машины (в *квт*)		
	до 40	40—100	100—1000
250—1000	Веретенное 3	Машинное Л Машинное С Веретенное 3	Машинное Л Машинное С —
Выше 1000	Веретенное 3	Машинное Л Машинное С	Машинное Л Машинное С

Таблица 20

Допустимый заменитель смазочных масел для подшипников скольжения

Заменяемые масла	Масла и заменители	Кинематическая вязкость смесей при 50°
Веретенное 3	Смесь: машинное Л и веретенное 2; Смесь: машинное С и веретенное 2;	17—23
	Смесь: машинное С и вазелиновое;	—
Машинное Л	Смесь: машинное С и веретенное 3; Смесь: машинное С и веретенное 2;	27—33
Машинное С	Смесь: автол 10 и веретенное 3; Смесь: автол 10 и веретенное 2	38—52

Маслораспределительные канавки прорезают в боковых частях вкладыша. Окна для смазочных колец во вкладышах прорезают на токарном станке. Для этого вкладыш зажимают эксцентрично к оси патрона. Места разъема вкладышей очищают и между половинками их ставят регулировочные медные прокладки толщиной 0,8—1,2 *мм*.

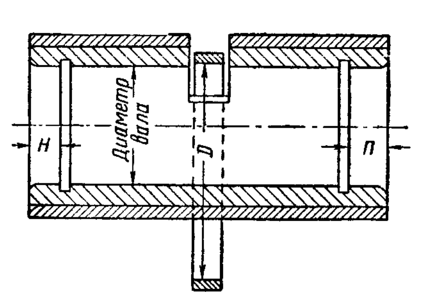


Рис. 9. Размеры элементов вкладыша

Если выправить погнутость или исправить забоины на кольце нельзя, вытачивают из бронзы смазочное кольцо или изготовляют его из полосовой латуни со спайкой или сваркой встык и последующей проточкой на токарном станке. Сма-

зочные кольца и окна не должны иметь острых кромок и заусенцев, препятствующих свободному вращению. Размеры смазочных колец, распределительных (смазочных) и маслоулавливающих канавок для подшипников скольжения приведены в таблице 18 (рис. 9), а смазочные масла для подшипников скольжения и допустимый заменитель — в таблицах 19 и 20.

6. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВЫХ ЩИТОВ, КАПСЮЛЕЙ, ФЛАНЦЕВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

Здесь возможны следующие неисправности: трещины, износ посадочных поверхностей, забоины и заусенцы на посадочных местах подшипников, излом фланца (крышки), деформация и разрыв сетки вентиляционных окон.

Трещины заваривают чугунными электродами с предварительным нагревом детали или медным электродом в холодном состоянии. Для устранения трещин в местах, несущих значительную механическую нагрузку, нельзя применять холодную заварку медным электродом.

Трещины в подшипниковом щите заваривают с подогревом его до температуры 650—700°, используя пламя горелки. Для уничтожения механических напряжений после сварки подшипниковый щит охлаждают в течение 10—12 часов в сухом песке. При заварке трещин медный электрод обертывают полоской белой жести и обмазывают жидким стеклом. Наплавляемую медь посыпают бурой. После наварки шов очищают напильником или на наждачном круге. Трещины в подшипниковых щитах сваривают так, чтобы не вызвать деформаций и изменений диаметра посадочных поверхностей.

Изношенные посадочные поверхности подшипниковых щитов или капсюлей восстанавливают горячей наваркой, металлизацией с последующей расточкой изношенного отверстия на токарном станке и запрессовкой стальной втулки, а также гальванизацией, которую применяют, когда диаметр отверстия или посадочного места необходимо уменьшить на 0,1—0,6 *мм*.

Изношенное отверстие растачивают под стальную втулку до диаметра $D = d + (6 + 12)$ *мм*. В расточенное отверстие запрессовывают стальную втулку с начерно расточенным внутренним диаметром и закрепляют ее стопорными винтами. Выверив установку подшипникового щита в патроне токарного станка, проводят чистовую расточку внутреннего отверстия втулки (рис. 10).

Процесс гальванизации состоит из подготовительных операций и наращивания обрабатываемой поверхности слоем никеля и меди. При подготовке очищают изношенные посадочные места от грязи и обезжиривают авиационным бензином; берут листовую резину и глухой фланец с отверстиями для болтов или винтов и прикрепляют их к подшипниковому гнезду, чтобы создать ванну для гальванического раствора; размещают подшипниковый щит

на металлическом столе, присоединенном к зажиму «минус» источника постоянного тока, благодаря чему подшипниковый щит становится катодом; устанавливают никелевый анод в центре ванны, образованной гнездом и листовой резиной, к которому подводят «плюс» источника постоянного тока.

Начало процесса гальванизации начинается после того, как к катоду и аноду будет подведено напряжение, а гнездо залито никелевым раствором. Чтобы стенки гнезда не окислялись, сначала подводят напряжение к катоду и аноду, а потом заливают ванну раствором. Никелевый раствор подготовляют из расчета на 1 *л* воды 40 *г* сернокислого никеля и 20 *г* нашатыря.

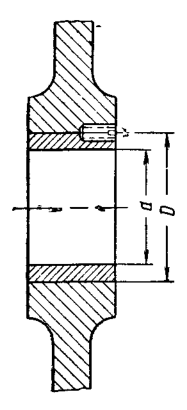


Рис. 10. Ремонт изношенного отверстия в подшипниковом щите запрессовкой втулки.

Гальванизация никелем производится при температуре 20°. Источник постоянного тока (аккумуляторная батарея, генератор постоянного тока) должен давать ток, равный 0,1 *а/см*² обрабатываемой поверхности при напряжении 1,5—2 *в*. Никелирование стенок гнезда продолжается 10—15 *мин*, после чего никелевый раствор переливают резиновой спринцовкой в стеклянную бутылку и промывают гнездо водой. В промытое гнездо взамен никелевого устанавливают медный анод, представляющий собой спираль цилиндрической формы из полосовой меди, и наливают электролит (50 *г* дымящей серной кислоты и 200 *г* медного купороса на 1 *л* воды).

Гальванизация медью производится также при температуре 20°; электрический ток равен 0,25 *а/см*² при напряжении 2 *в*. Продолжительность процесса определяют из расчета: в течение 20 *мин* наращивается слой меди толщиной около 0,01 *мм*. По окончании гальванизации переливают раствор медного купороса и кислоты в стеклянную бутылку, промывают обработанную поверхность чистой водой и зачищают верхний слой шкуркой до блеска. Забоины и заусенцы на посадочных местах подшипников зачищают напильником, трехгранным шабером и шлифовальной шкуркой. Неисправные фланцы заменяют.

Погнутую сетку вентиляционных окон выправляют молотком. Порванную сетку заменяют. Ее делают из листовой стали толщиной 0,5—1,0 *мм*. Отверстия под вентиляционные окна и винты делают по старой сетке и по чертежам завода-изготовителя машины.

При ослаблении крепления лопаток вентилятора ослабленные заклепки срубают и выбивают, рассверливают новые отверстия и приклепывают или приваривают лопатки.

Если ослаблено крепление втулки вентилятора (из-за изношенности стопорного винта на валу), надо заменить вичт. Посадка втулки вентилятора на вал должна быть плотной. Устра-

нять слабину втулки на валу накаткой или накерновкой не разрешается.

Вентилятор после ремонта и сборки нужно отрегулировать так, чтобы радиальное биение не превышало 1 *мм*, а осевое — 1—2 *мм*. Собранный после ремонта вентилятор балансируют.

7. РЕМОНТ ТОРЦОВЫХ КОРОТКОЗАМЫКАЮЩИХ КОЛЕЦ РОТОРА

Трещины на кольцах из алюминиевого сплава запаивают припоем (63% олова, 33% цинка и 4% алюминия) с температурой плавления 380°. Поврежденное место перед пайкой очищают и обрабатывают в виде ласточкина хвоста, после чего подогревают паяльной лампой до температуры 400—450° и паяют, размещая ротор так, чтобы запаиваемое место находилось в горизонтальной плоскости. Неостывшие излишки и наплывы припоя снимают стальной гладилкой.

Нарушение соединения между стержнями из медных сплавов и кольцами устраняют газовой сваркой. Для присадочного материала используют прутки из фосфористой меди с содержанием 6—8% фосфора, а для флюса применяют буру. При обрыве стержней из медных сплавов их заменяют.

8. РЕМОНТ КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

Неравномерный износ устраняют проточкой с последующей шлифовкой. Контактные кольца протачивают лишь в том случае, если износ не превышает 50% первоначальной толщины. Наименьшая допустимая толщина колец в радиальном направлении равна 8—10 *мм*. Заделка раковин заваркой или пайкой не допускается.

Пятна от подгара и шероховатость зачищают и полируют шлифовальной шкуркой. Поверхность колец после ремонта должна быть ровной и зеркальной, без заметных следов выработки.

Если нарушено винтовое соединение между кольцом и контактной шпилькой, в кольце рассверливают отверстие, нарезают новую резьбу и ввертывают контактную шпильку. Новая резьба должна быть чистой, полной, без сорванных ниток.

При замыкании колец между собой вывертывают шпильку и заменяют изоляционную трубку. Для определения места замыкания отъединяют концы обмотки от контактных колец и проверяют изоляцию контрольной лампой.

Кольца напрессовывают на стальную втулку горячим и холодным способами. При горячей напрессовке вновь изготовленную или старую стальную втулку с очищенной до блеска поверхностью покрывают миканитом по всей ширине, полоски которого между отдельными слоями промазывают бакелитовым лаком. Стыки полосок делают вразбежку; изоляцию втулки обжимают при помощи прессующего кольца.

Перед насадкой контактных колец поверхность изоляции втулки обрабатывают на токарном станке. Натяг между изолированной поверхностью втулки и внутренним отверстием контактных колец при горячей напрессовке должен быть 0,5—1,0 *мм* в зависимости от размера колец. Контактные кольца надевают на изолированную втулку в нагретом до 400—500° состоянии. Для предохранения миканита от возгорания втулку и кольца охлаждают. При вращении ротора миканит подвергается выветриванию, поэтому после установки контактных колец на место его защищают бандажами из шпагата или хлопчатобумажной ленты, пропитанными бакелитовым лаком и покрытыми сверху электроэмалью.

При холодной напрессовке контактных колец на стальную втулку их предварительно собирают вместе с выводными шпильками. Изоляцию между кольцами и втулкой изготовляют из электрокартона толщиной 0,5 *мм*. Для создания необходимого сопротивления изоляции между полосками электрокартона прокладывают один-два слоя лакоткани или миканита, а затем запрессовывают втулку в гильзу из листовой стали толщиной 0,5—2,0 *мм*. Для предупреждения смещения и сближения контактных колец при напрессовке на втулку между кольцами заранее устанавливают дистанционные прокладки. Натяг при напрессовке втулки регулируют дополнительными полосками электрокартона толщиной 0,5—0,1 *мм*.

Контактные кольца, установленные на валу ротора, должны иметь радиальное биение не более 0,1 *мм* при скорости вращения вала до 1000 *об/мин* и 0,05 *мм* при 1000 *об/мин*. Осевое биение не должно превышать 3—5% ширины контактного кольца.

9. РЕМОНТ ПОЛЮСОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА И ВОЗБУДИТЕЛЯ

Износ или повреждение резьбы в полюсах устраняют просверливанием отверстия большего диаметра и нарезкой новой резьбы. Износившиеся винты крепления полюсов заменяют.

Ослабление, сдвиг и скручивание полюсных пластин исправляют перешихтовыванием с последующим их свариванием. Сварной шов накладывают по дну лунки, которая образуется после сборки на боковой поверхности полюса. Во избежание повреждения изоляции внутренней поверхности катушки возбуждения сварной шов тщательно зачищают.

10. ИЗГОТОВЛЕНИЕ НОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ГИЛЬЗ ДЛЯ СТАТОРА, РОТОРА

Основной изоляцией обмотки относительно корпуса служит лакоткань, которую располагают между двумя слоями электрокартона. Электрокартон, прилегающий к стали статора, защищает лакоткань от механических повреждений внутри паза, где всегда имеются неровности, острые края, особенно в местах выхода об-

мотки из паза. Внутренний слой электрокартона, прилегающий к обмотке, предохраняет лакоткань от сминания и механических повреждений при укладке катушки в паз.

Толщина лакоткани и электрокартона для изоляции статорных обмоток напряжением до 500 *в* приведена в таблице 21.

Таблица 21

Толщина лакоткани и электрокартона для изоляции статорных обмоток

Наружный диаметр пакета статора (в *мм*)	Номинальное напряжение (в *в*)	Толщина лакоткани (в *мм*)	Толщина электрокартона, прилегающего к пакету статора (в *мм*)	Толщина электрокартона, прилегающего к обмотке (в *мм*)	Общая толщина пазовой изоляции (в *мм*)
—	До 24*	—	0,20—0,30	—	0,20—0,30
90	» 380*	0,10	0,10	0,10	0,30
90—120	» 380*	0,10	0,20	0,10	0,40
120—150	» 500*	0,20	0,20	0,10	0,50
250—500	» 500*	0.20	0,20	0,20	0,60
500	» 500*	0,20	0,30	0,20	0,70

При ремонте трехфазных электродвигателей мощностью от 0,1 до 100 *квт* пазовую изоляцию ротора выбирают по таблице 22.

Таблица 22

Пазовая изоляция ротора

Напряжение на кольцах (в *в*)	Пазовая изоляция ротора					
	с открытыми пазами			с закрытыми пазами		
	1 слой	2 слоя	3 слоя	1 слой	2 слоя	3 слоя
До 220 включительно	Электрокартон 0,4 *мм*	—	—	Электрокартон 0,2 *мм*	Электрокартов 0,2 *мм*	—
Свыше 220	Электрокартон 0,1 *мм*	Лакоткань 0,17—0,2 *мм* или лакошелк 0,1—0,15 *мм*	Электрокартон 0,2 *мм*	Электрокартон 0,1 *мм*	Лакоткань 0,17—0,2 *мм* или лакошелк 0,1—0,15 *мм*	Электрокартон 0,1 *мм*

Порядковые номера слоев считают от стали пакета.

Перед началом гильзовки пазы статора (ротора) тщательно осматривают, так как заусенцы и наплывы в пазах могут повреждать изоляцию при укладке и формовке. Подготовку изоляции начинают с определения размеров заготовки для гильзы, которые определяются длиной пакета стали и формой паза (рис. 11). Ши-

* Включительно.

рина изоляционной заготовки для закрытых пазов должна быть больше периметра паза на 5—6 *мм*.

Размер заготовки определяют длиной паза плюс 10—30 *мм*. Гильзу собирают из трех слоев изоляции: внутренний и внешний слои состоят из электрокартона, а средний — из лакоткани. Выступающие из торцовой части паза с двух сторон концы гильзы перед укладкой ее в паз складывают вдвое и получают манжету длиной 5—15 *мм*. Манжета предохраняет гильзу от разрыва при осадке и оформлении лобовых частей обмотки, а изоляцию обмотки — от повреждения острыми краями пакета стали в месте выхода из паза.

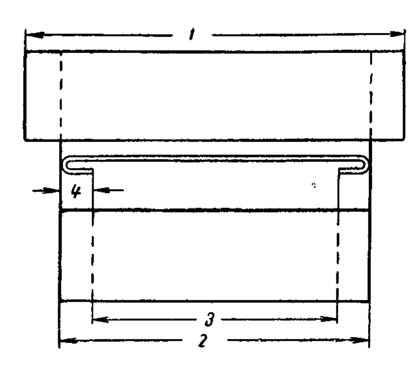


Рис. 11. Изготовление пазовой изоляции из электрокартона:

1 — полная длина заготовки; 2 — длина заготовки с загнутыми манжетами; 3 — длина пазовой части заготовки; 4 — выступающая часть гильзы в торцовой части паза.

Первую (контрольную) гильзу укладывают в паз и расправляют при помощи деревянной оправки, выполненной по форме паза, но с размерами, уменьшенными на толщину пазовой изоляции. Размеры остальных гильз, входящих в комплект для ремонтируемой машины, уточняют по контрольной. После укладки гильзы расправляют так, чтобы они плотно облегали паз по периметру и приняли его форму. Все манжеты должны выступать в торцовой части паза на одинаковую длину, образуя правильное и почти сплошное кольцо.

Гильзы для изоляции закрытого паза изготовляют обертыванием изоляционными материалами деревянной оправки, имеющей форму паза. Для этого на оправку накладывают один слой электрокартона, смазывают клеящим лаком, на который туго накручивают слой лакоткани. Наружную поверхность слоя лакоткани промазывают лаком и накладывают второй слой электрокартона. Край электрокартона, образующий перекрытие вдоль гильзы, располагают сбоку в средней по высоте части паза. Заполнение паза изоляцией считается нормальным, когда она занимает не более 15—20% его площади. После гильзовки статора подготавливают изоляцию для деревянных клиньев и лобовой части обмотки в местах перекрещивания сторон разных катушек. Полосы лакоткани для изоляции лобовых частей обмотки режут под углом 45° к основе.

11. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЕКЦИЙ И КАТУШЕЧНЫХ ГРУПП

Для изготовления секций и катушечных групп электрических машин применяют медные изолированные провода круглого и прямоугольного сечений следующих марок: ПЭВ — эмалированный

высокопрочный, винифлексовый (они бывают трех марок — ПЭВ-1, ПЭВ-2 и ПЭВ-3, различающихся толщиной эмалевого покрытия); ПЭЛШО — изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка: ПЭЛБО — изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи; ПБД — изолированный двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи; ПДА — с дельта-асбестовой изоляцией, состоящей из слоя асбестового волокна, подклеенного к меди и пропитанного специальным лаком, и ПСД — с двумя слоями стеклянных нитей.

Для низковольтных машин со всыпной обмоткой применяют обмоточные провода следующих марок: ПЭВ, ПЭЛШО и ПЭЛБО (для мелких машин); ПЭВ, ПЭЛБО и ПБД (для средних машин).

Для статорных и якорных шаблонных катушек машин постоянного тока применяют обмоточные провода ПБД, ПЭВ, ПДА, ПСД и др.

Провод подбирают в зависимости от коэффициента заполнения паза. Выбор марки обмоточной меди определяют по материалам завода-изготовителя и проверочным расчетам. Если нет обмоточных проводов необходимого сечения, допускается замена двумя-тремя параллельными проводами, суммарное сечение которых равно или несколько больше требуемого. Диаметр каждого из двух проводов-заменителей должен быть меньше диаметра заменяемого провода не в два, а только в 1,41 раза. Например, если по расчету диаметр провода должен быть 3,05 *мм*, то вместо него можно взять два тонких провода диаметром 3,05 : 1,41 = 2,1 *мм*. Число параллельных проводов в обмотке не должно превышать трех.

Сечение меди и число витков шунтовых катушек определяют по сопротивлению катушки и величине тока, который через нее протекает.

Пример. Машина с параллельным возбуждением мощностью $P_н = 24$ *квт*, напряжением $U_н = 230$ *в*; током $I_н = 104,5$ *а*, числом полюсов $2_р = 4$.

В шунтовых машинах ток возбуждения составляет 2—5% номинального тока машины. В нашем случае ток возбуждения берем 3% номинального. Тогда:

$$I_в = \frac{104,5 \cdot 3}{100} = 3,1 \ a.$$

Шунтовая обмотка возбуждения, параллельно соединенная с обмоткой якоря, работает под полным напряжением якоря, равным 230 *в*. Тогда сопротивление всех катушек будет:

$$R = \frac{230}{3,1} = 74,2 \ ом.$$

Сопротивление одной катушки будет в четыре раза меньше:

$$R_1 = \frac{74,2}{4} = 18,55 \ ом.$$

Принимая плотность тока равной 2 *а/мм²*, определим сечение медного провода для катушки:

$$S = \frac{3,1}{2} = 1,55 \text{ мм}^2.$$

Диаметр провода при таком сечении будет равен:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,55}{3,14}} = 1,4 \text{ мм}.$$

Полученный диаметр провода проверяем по таблице номинальных размеров (ГОСТ 6324—54), откуда находим ближайший диаметр 1,40 *мм*; сечение провода будет:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,40^2}{4} = 1,54 \text{ мм}^2.$$

После этого определяем общую длину катушки.

Длина одного витка по размерам полюса приблизительно равна 0,46 *м*. Зная сопротивление одной катушки, определим длину провода:

$$l_{общ} = \frac{18,55 \cdot 1,54}{0,0175} = 1632 \text{ м},$$

где 0,0175 — удельное сопротивление меди при 20°. Следовательно, катушка должна иметь

$$W = \frac{1632}{0,46} = 3548 \text{ витков.}$$

Выбрав провод необходимого диаметра и типа, снимают с натуры форму и размер контрольного витка, изготовленного из отрезка провода с учетом шага обмотки и вылета лобовых частей. Длину вылета лобовой части контрольного витка выбирают с учетом изоляционных расстояний между обмотками, корпусом и внутренней стенкой подшипникового щита в зависимости от напряжения машины.

Небольшие секции и катушечные группы наматывают на обмоточном станке мощностью 0,25—0,50 *квт*.

По контрольному витку подбирают колодки (боковины) намоточного шаблона (для намотки катушечных групп с двойным шагом берут ступенчатые колодки). Собирают намоточный шаблон и устанавливают длину колодок такой, чтобы периметр боковин шаблона был равен периметру контрольного витка или секции.

При намотке проволочных мягких секций для создания натяжения провода конец его пропускают через ряд стальных или фибровых роликов и закрепляют на шаблоне. Наматывая отдельные секции катушек, следят, чтобы проводники укладывались правильными рядами, не перехлестывались, плотно прилегали виток к витку и к шаблону. Число витков должно соответствовать виткам обмоточно-расчетной карты. На изолированной меди не должно быть оголенных мест.

После намотки первой секции станок останавливают, стороны секции временно перевязывают лентой или тонким проводом в двух местах с каждой стороны пазовой части секции, переводят проводник во второй паз или ступень шаблона, а при бесступен-

чатой боковине отступают от намотанной секции на 10—15 *мм* и мотают вторую, а затем третью, образуя катушечную группу.

Число витков в секции при намотке подсчитывают по числу оборотов шаблона или по счетчику оборотов. Число оборотов шаблона должно соответствовать числу витков секции. После намотки секций или катушечных групп закрепляют изоляцию на концах катушек, опуская их в канифольный раствор.

Для изготовления якорных секций используют универсальный шаблон (рис. 12), состоящий из двух металлических щек, жестко

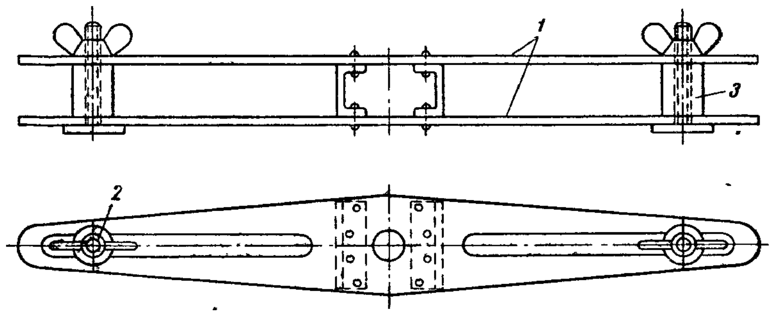
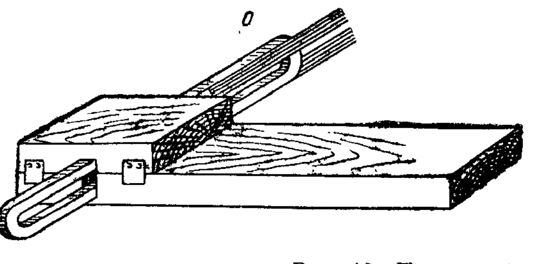


Рис. 12. Универсальный шаблон для изготовления якорных секций:
1 — металлические щеки; *2* — упор; *3* — трубка.

соединенных между собой сердечником, находящимся в центральной их части. В боковых удлиненных вырезах щек могут перемещаться упоры, на которые наматывают секции. Упоры можно закрепить гайкой в любом месте выреза. Для получения нужного радиуса и толщины сторон секции на упоры надевают трубки соответствующих размеров. Готовую якорную секцию, снятую с шаблона, изолируют хлопчатобумажной лентой. Для сохранения прямоугольной формы секции ее не следует сильно стягивать лентой. Пазовая часть секций после изоляции не должна иметь утолщений и неровностей.

Для укладки секции в пазы якоря пазовые части сдвигают одну от другой на расстояние шага. Поэтому после снятия с шаблона секцию растягивают до необходимого размера на деревянном приспособлении (рис. 13), состоящем из длинной и короткой досок. В верхней и нижней досках сделаны вырезы, в которые устанавливают секцию так, чтобы нижняя сторона поместилась в нижний вырез, а верхняя — в верхний. При движении короткой доски по длинной верхняя сторона секции в пазовой части растягивается короткой доской до необходимого размера. Чтобы головки секции после растяжки оставались прямыми, их удерживают специальными скобами (подковообразными приспособлениями) (рис. 14). Иногда применяют секции со скошенными головками, изготовление которых не требует применения скобы. После растяжки лобовым частям секции придают такую форму, чтобы стороны ее правильно ложились в пазы. Для изгиба лобовых частей



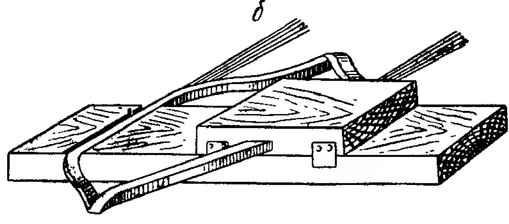


Рис. 13. Приспособление для растягивания секций:

а — секция в вырезах приспособления до растяжки; *б* — секция после растяжки.

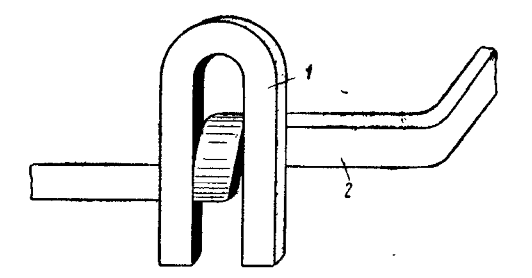


Рис. 14. Приспособление для исправления формы лобовой части секции:

1 — подковообразное приспособление; *2* — лобовая часть секции с прямой головкой.

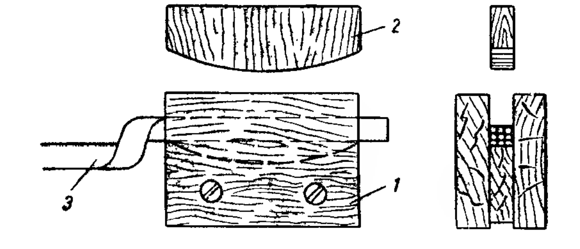


Рис. 15. Приспособление для придания секции формы окружности якоря:

1 — шаблон; *2* — оправка; *3* — лобовая часть секции.

по форме якоря применяют приспособление, изображенное на рисунке 15. Ударяя молотком по верхней оправке, выгибают лобовые части, и секция получает правильную цилиндрическую поверхность (рис. 16).

Катушки возбуждения генератора и шунтовые катушки возбуждения возбудителя наматывают на каркас или деревянный шаблон. При намотке катушки каркас служит формой, а во время сборки и работы машины — защитой от повреждения изоляции краями и острыми углами полюса. Металлический каркас мешает пропитке, поэтому катушки современных машин чаще наматывают на деревянный или металлический шаблон, состоящий из сердечника с двумя фланцами.

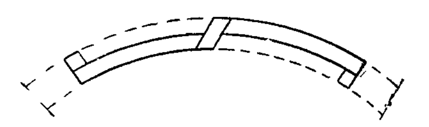


Рис. 16. Лобовая часть секции после укладки в пазы якоря.

Площадь, ограниченная сердечником и фланцами, образует обмоточное пространство, в которое укладывают витки катушки. Сердечник шаблона делают составным из двух половин, каждая из которых имеет форму клина. Поэтому намотанную катушку легко снять с шаблона. Во фланцах делают вырезы для закладывания перед намоткой катушки полосок ленты, которыми закрепляют витки катушки перед снятием с шаблона. Деревянные шаблоны изготовляют по размерам катушек с зазором 1,5—2,0 *мм* между катушкой и полюсом. Радиус закругления шаблона должен быть больше радиуса закругления полюса.

Каркас представляет собой коробку с двумя боковыми фланцами из листовой стали толщиной 0,5—2 *мм*. Фланцы каркаса и коробку, ограничивающие обмоточное пространство, изолируют электрокартоном толщиной 0,5—1 *мм* (в 2—4 слоя). Ширину электрокартона берут равной высоте каркаса; электрокартон должен прочно упираться краями во фланцы. Начало и конец электрокартона обрезают на конус, чтобы избежать утолщения в месте соединения электрокартона при навертывании.

Для предупреждения развертывания на электрокартон наматывают хлопчатобумажную ленту вразбег. Затем из него вырезают четырехугольник с таким расчетом, чтобы края выступали за намотанную катушку на 10—15 *мм* с каждой стороны. В четырехугольнике намечают ширину и длину изолированной коробки, а затем вырезают отмеченную часть. Полученные фланцы надевают на коробку, для чего их предварительно на короткой внутренней стороне разрезают наискось и накладывают по два на стальные шайбы каркаса. Шайбы ставят так, чтобы разрезы их помещались на разных сторонах каркаса. Затем снимают временно наложенную хлопчатобумажную ленту.

Катушку наматывают в такой последовательности. Намотчик устанавливает каркас или шаблон на шпиндель намоточного станка.

К начальному концу проводника припаивают выводной конец катушки. Если ее наматывают тонким проводом диаметром до 1 *мм*, то вывод от начала делают гибким многожильным проводом (типа ПРГ), обернутым один-два раза вокруг каркаса. При выполнении катушки из провода бóльшего сечения вывод от начала катушки делают из полоски мягкой меди сечением, равным сечению обмоточного провода. Место пайки изолируют лакотканью или хлопчатобумажной лентой. Конец провода укладывают на каркасе и, закрепив его, приступают к намотке катушки.

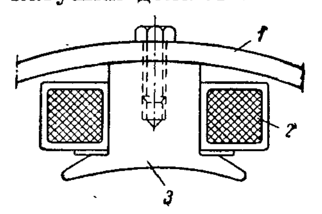


Рис. 17. Установка катушки в цилиндрическом корпусе:

1 — корпус; *2* — катушка; *3* — полюсный башмак.

При намотке катушек нужно следить за тем, чтобы провод заполнял обмоточное пространство равномерно, без крупных переходов поперек витков, так как при повреждении изоляции они замыкаются с перекрещивающимися витками и в катушке возникает витковое замыкание. Если катушку наматывают тонким проводом диаметром меньше 0,5 *мм*, витки можно укладывать в беспорядке, заполняя обмоточное пространство шаблона или каркаса. Более толстую проволоку укладывают правильными рядами. На углах шаблона между слоями катушки прокладывают дополнительную изоляцию из полоски перфорированного электрокартона толщиной 0,1—0,2 *мм*.

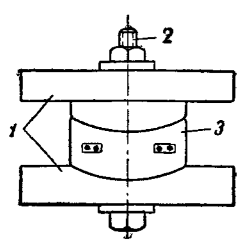


Рис. 18. Приспособление для изгибания катушек:

1 — деревянные колодки; *2* — болт с гайкой; *3* — катушка.

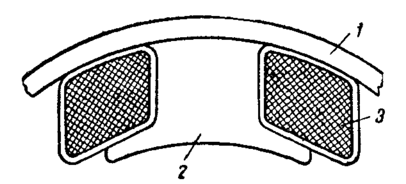


Рис. 19. Установка изогнутой катушки на главном полюсе:

1 — корпус; *2* — главный полюсный башмак; *3* — катушка.

Переходные витки (между боковиной шаблона и соседним проводником) изолируют прокладкой из кабельной бумаги или хлопчатобумажной ткани. Катушки сверху обматывают тафтяной или киперной лентой и пропитывают лаком.

Внутренняя поверхность корпуса машины имеет цилиндрическую форму. Поэтому для плотного прилегания катушек с плоскими торцами к корпусу и полюсному башмаку и уменьшения воздушного пространства между катушкой и корпусом (рис. 17) катушку перед установкой на полюсе изгибают на деревянном приспособ-

лении, состоящем из двух колодок, стягиваемых болтом с гайкой (рис. 18). Катушки должны плотно прилегать к корпусу и полюсному башмаку (рис. 19).

12. УКЛАДКА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОБМОТКИ КЛИНЬЯМИ

Укладку обмотки в пазы выполняют разными способами, зависящими от формы паза, типа и мощности машины.

Обмотку можно укладывать по одному проводнику через прорезь (шлиц) паза (всыпная обмотка), протягивать провода и изолированные стержни через закрытые пазы или закладывать готовые секции в открытые пазы. Во всех случаях обмотку нужно укладывать в пазах без перекрещивания витков и повреждения изоляции (рис. 20) и следить, чтобы витки плотно прилегали друг к другу. Для этого их необходимо периодически осаживать или уплотнять оправками. Витки всыпной обмотки уплотняют «сапожком» (рис. 21) через каждые 10—15 витков с применением специального молоточка (рис. 22). Концы секций должны быть выведены наружу (на лобовую часть), иначе при соединении обмотки часть из них может быть пропущена. Выводные концы секций обрезают по длине, очищают от витковой изоляции и лудят. Это делают после придания секциям необходимой формы и размеров.

Изоляцию с выводных концов удаляют специальными щипцами (рис. 23) или на крацевальном станке (рис. 24). Длина очищенных концов должна быть 40—60 *мм*. По сравнению с ручным способом снятие изоляции на крацевальном станке повышает производительность труда, но при этом получаются неровные края изоляции. Эмалевую изоляцию снимают обжигом в нагревательных клещах.

Очищенные от изоляции и окалины выводные концы лудят припоем ПОС-30. Для этого их погружают в канифольный флюс, а затем в ванну с припоем, излишки которого с нагретых выводных концов удаляют волосяными щетками.

Для формовки лобовых частей обмотки и получения необходимой величины вылета применяют бруски из дерева твердых пород цилиндрического или овального сечения, а также стальные опорные клинья (рис. 25) и скобы (рис. 26).

При выполнении двухслойной обмотки одну сторону секции укладывают на дно пазов, а другие размещают по шагу обмотки в верхней части паза.

Для осаживания нижних сторон секций в пазы вставляют временные металлические клинья, а сверху и снизу — деревянные. Равномерное подколачивание клиньев плотно осаживает секцию на дне паза. Лобовые части при укладке рихтуют молотком или домкратом. Между ними и обмоткой подкладывают мягкую прокладку.

Во время укладки секции разогревают в специальных шкафах или пропускают ток от трансформатора. Температура нагрева

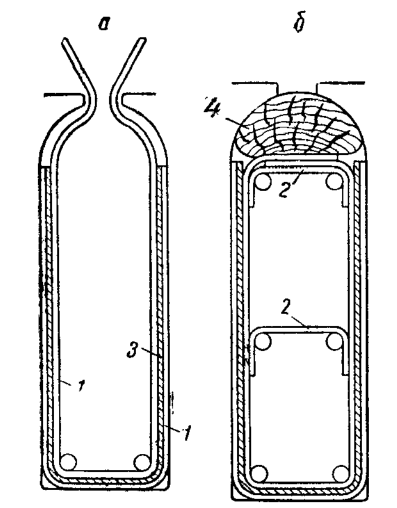


Рис. 20. Укладка всыпной обмотки в пазы:

а — схема пазовой части; *б* — укладка обмотки в пазы статора; *1* — электрокартон 0,2 *мм*; *2* — электрокартон 0,3 *мм*; *3* — лакоткань 0,22 *мм*; *4* — деревянный клин.

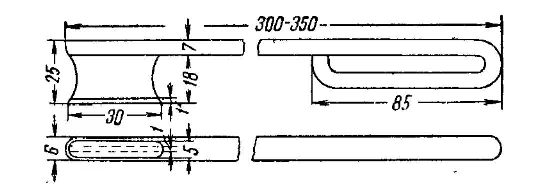


Рис. 21. Сапожок для уплотнения витков секции при укладке (размеры в *мм*).

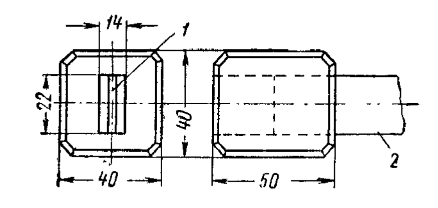


Рис. 22. Молоточек для обмоточных работ (размеры в *мм*):

1 — клин; *2* — рукоятка.

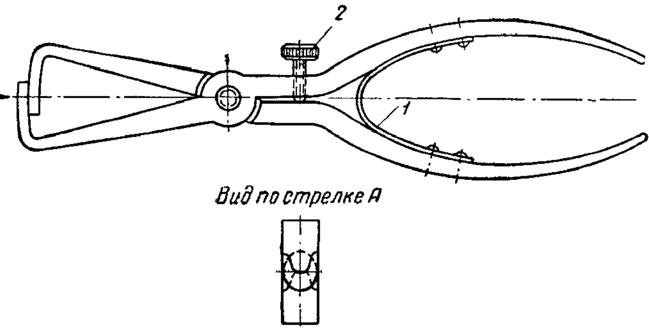


Рис. 23. Щипцы для удаления изоляции с выводных концов обмотки:

1 — пружина; *2* — регулировочный винт.

не должна превышать 60—80°. Отрихтованные секции со стороны лобовых частей подвязывают к кольцу обмоткодержателя.

После заполнения паза обмотку закрепляют и уплотняют клиньями, под которые подкладывают изоляцию. Лобовые части

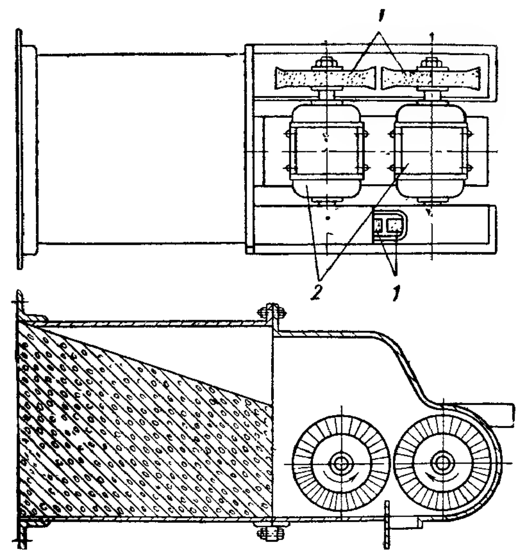


Рис. 24. Крацевальный станок с четырьмя щетками:

1 — вращающиеся проволочные щетки; 2 — электродвигатели.

катушек разных фаз отделяют одну от другой прокладками из лакоткани.

При укладывании обмотки в закрытые пазы предварительно вводят стальные или медные спицы, число которых должно соот-

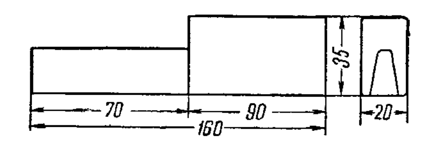


Рис. 25. Опорный клин для придания формы лобовым частям катушки при намотке «впротяжку» (размеры в *мм*).

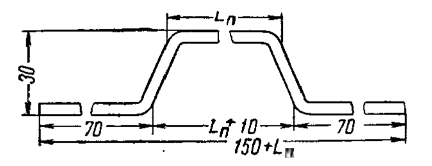


Рис. 26. Опорная скоба для намотки «впротяжку» (размеры в *мм*); $L_п$ — длина паза.

ветствовать числу проводов, а диаметр каждой отдельной спицы — диаметру провода с изоляцией. При протягивании провода спицы постепенно удаляют из пазов. Для облегчения этой операции обмоточный провод натирают парафином. Клинья для закрепления и уплотнения обмотки изготовляют из твердых и полутвердых

пород дерева (бук, клен, береза), просушенного при температуре 60—80° в течение 10—12 часов. Форма поперечного сечения клина зависит от формы паза. Клинья проваривают в олифе при температуре 120—150° в течение 3 часов до прекращения появления пены и пузырьков на поверхности олифы, а затем просушивают в течение 8—10 часов при температуре 110—115°.

Для машин малых размеров вместо деревянных клиньев применяют прокладки из электрокартона толщиной 1 *мм*.

Выступающие из пазов с торцовой стороны части клиньев следует срезать на расстоянии 5—10 *мм* от паза.

После укладки отдельных секций обмотки, но до соединения их между собой, проверяют мегомметром состояние изоляции, затем временно соединяют секции и повторно проверяют правильность соединения при помощи компаса или вертушки. Если обмотка соединена правильно, стрелка компаса, передвигаемого по расточке статора, отметит число пар полюсов машин; каждая пара полюсов должна занимать одинаковое число пазов.

Вращение вертушки, помещенной в центре расточки статора, укажет на правильность выполнения схемы соединения обмотки.

13. СОЕДИНЕНИЕ, ПАЙКА (СВАРКА) И ИЗОЛИРОВАНИЕ ОБМОТКИ

Обмотку электрической машины соединяют только в лобовой части. Концы, выведенные для пайки, должны быть длиной не менее 3—5 *см*.

По температуре плавления припои могут быть мягкие и твердые. К мягким относят припои из олова и свинца с температурой плавления до 300°, к твердым — из меди и серебра с температурой плавления выше 300°.

Для уничтожения пленок окислов применяют флюсы: канифоль (для мягких припоев) и буру (для твердых). Травление проводов кислотой при пайке токоведущих частей электрических машин не допускается, так как кислота разрушает изоляционные материалы.

Для пайки обмоток электрических машин применяют припои ПОС-30, ПОС-40 и ПОС-50, а для лужения — малооловянистые припои ПОС-10 и ПОС-15.

Провода обмотки паяют электрическим или электродуговым паяльником и паяльной лампой. Перед пайкой концы проводов зачищают шкуркой на длине не менее 15 *мм*.

Мягкими припоями соединяют статорные и роторные шины, изолированные по классу А, с невысокими рабочими температурами. Твердые припои применяют для спайки обмоток электрических машин с высокими перегревами и изолированных по классу Б. В отдельных случаях для придания механической прочности на спаиваемые поверхности надевают скобочки (хомутики).

Технология пайки мягким припоем состоит из следующих операций: зачистки и прогревания места спайки до температуры плавления припоя, смазки канифолью, прикосновения припоем

к местам пайки, удаления тряпкой излишков припоя в горячем состоянии, охлаждения и удаления остатков канифоли спиртом.

Твердый припой вводят между торцами провода в виде листочка, концы вкладывают в зажимы и закрепляют: один — плотно, а другой — свободно. Место пайки нагревают паяльной лампой или электроклещами.

Порядок операций при пайке твердым припоем следующий: подготавливают торцы, разогревают провода до темно-красно-малинового цвета, место пайки посыпают бурой и продолжают нагрев до момента расплавления припоя. Как только припой расплавится, нагрев прекращают, а после охлаждения запиливают место пайки и проверяют прочность изгибом.

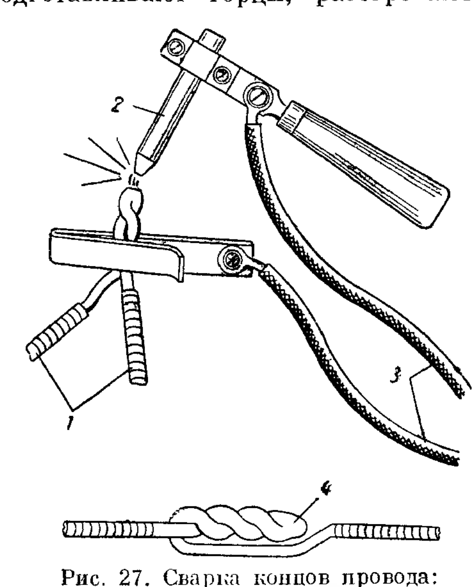


Рис. 27. Сварка концов провода:

1 — концы свариваемых проводов; 2 — угольный электрод; 3 — концы питающих проводов от трансформатора; 4 — сваренные концы.

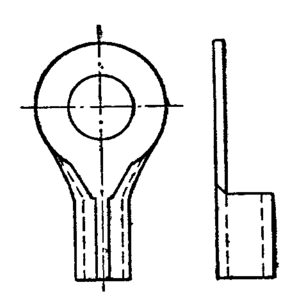


Рис. 28. Кабельный наконечник.

Концы обмотки можно также сваривать на стыковом сварочном аппарате. Для этого к зачищенным и скрученным вместе концам проводов прикладывают металлический электрод, а к основанию скрутки — угольный (рис. 27). Этот способ дает наиболее надежное соединение при напряжении 50—60 *в* и мощности сварочного трансформатора не менее 50 *ква*. Для выводных концов применяют только гибкие провода необходимого сечения (табл. 22а). Выводные концы гибких проводов сечением 6 *мм*^{2} и больше снабжают кабельными наконечниками (рис. 28). Для выводов можно использовать концы обмоток с изолированием их и мест пайки лакотканью, тафтяной, киперной лентой или линоксиновой трубкой.

В однослойных катушечных обмотках минимальные изоляционные расстояния для различных электрических машин не должны быть меньше величин, указанных в таблице 23 (рис. 29).

Для двухслойных катушечных обмоток эти расстояния указаны в таблице 24 и на рисунке 30.

Рис. 29. Изоляционные расстояния для однослойной катушечной обмотки:

1 — подшипниковый щит; *2* — станина электрической машины; *3* — лобовые части обмотки.

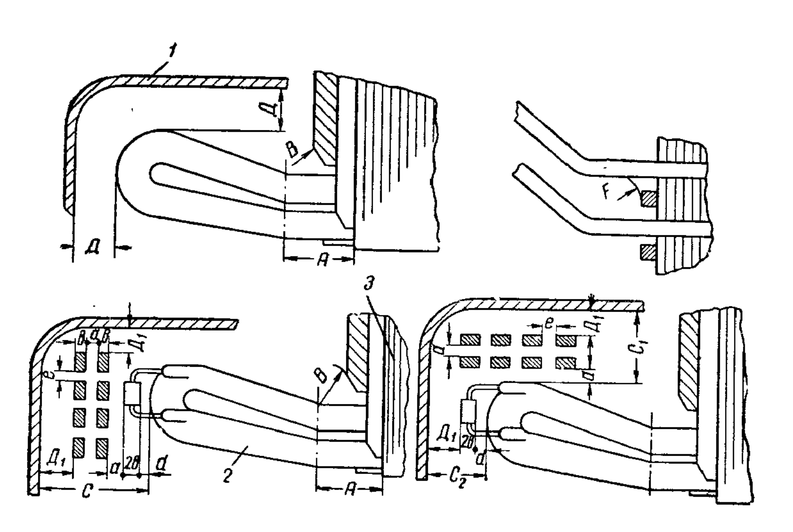


Рис. 30. Изоляционные расстояния для двухслойных катушечных обмоток:

1 — щит двигателя; *2* — лобовая часть обмотки; *3* — корпус статора.

Таблица 22а

Сечение выводных проводов обмоток электрических машин

Сечение медных выводных проводов (в $мм^2$)	Типы электрических машин и нагрузка (в *а*)			
	Продолжительная нагрузка		Кратковременная нагрузка	
	открытые вентилируемые	закрытые невентилируемые	открытые вентилируемые	закрытые невентилируемые
2,5	26	23	39	30
4	40	33	60	46
6	58	47	87	58
10	84	67	140	110
16	120	100	220	170
25	160	140	320	255

Таблица 23

Изоляционные расстояния в однослойных катушечных обмотках

Номинальное напряжение машины (в *в*)	Изоляционные расстояния не менее (в *мм*)								
	a	*b*	*c*	*R*	*A*	A_1	A_2	a_1	b_1
500	20	15	—	15	15	30 + H	45 + 2H	15	10
3150	30	20	5	15	45	65 + H	85 + 2H	20	12
6300	43	30	10	20	60	90 + H	120 + 2H	30	15

Примечания. 1. Все расстояния приняты от металла до металла. 2. *H* — высота столбика меди катушки в прямолинейной части.

Таблица 24

Изоляционные расстояния в двухслойных катушечных обмотках

Напряжение (в *в*)	A		B	F		*C*	C_1	C_2	*D*	D_1	*a*	*d*	*l*
	гильзовая изоляция		компаундированная изоляция	гильзовая изоляция	компаундированная изоляция								
До 525	15	10	10	10	10	$(a+b)\cdot n+2b+d+D_1$	$(a+b)\cdot n+D$	$2b+d+D$	20	15	10	20	5
Свыше 525 до 3150	45	25	20	25	20				30	20	12	25	5
Свыше 3150 до 6300	60	40	25	40	25				40	30	15	25	8
Свыше 6300 до 10 500	90	60	30	70	35				50	40	20	30	12
Свыше 10 500 до 13 800	—	—	35	—	40				65	55	25	35	15

Примечания. 1. *n* — число рядов проводников схемы соединения. 2. Все расстояния, выраженные в *мм*, приняты от металла до металла. 3. *b* — размер провода схемы соединения.

Для машин напряжением до 500 *в* выводные концы изолируют киперной лентой в полуперекрытие. Каждую катушку группы обматывают лентой, начиная от торца сердечника до конца колена. При этом обязательно захватывают выступающую из пазов часть гильзы. Среднюю часть головок группы изолируют общей киперной лентой, конец которой прикрепляют к головке. Начало и конец группы, отдельные пайки в головках, междугрупповые соединения, а также переходы между катушками изолируют в полуперекрытие одним слоем лакоткани и одним слоем киперной ленты.

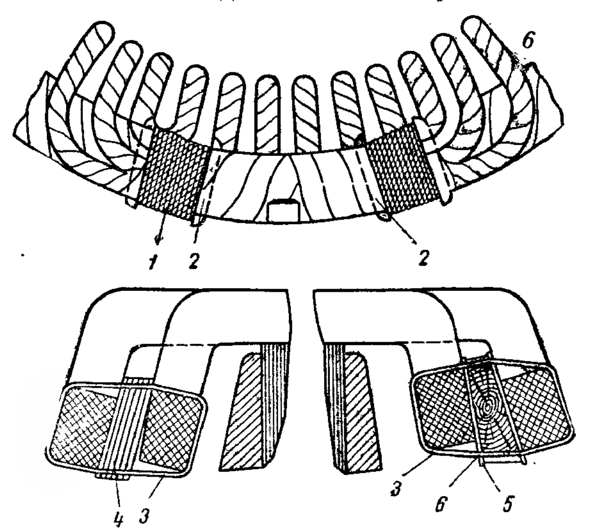


Рис. 31. Укрепление лобовых частей катушек и катушечных групп:

1 — бандаж; *2* — межгрупповые прокладки; *3* — бандаж из шнура; *4* — прокладки из электрокартона; *5* — миканит; *6* — прокладка из пропитанного дерева.

При изоляции соединений и выводов электрических машин напряжением до 500 *в* накладывают по одному слою лакоткани и киперной ленты.

Если расстояние F и D больше, чем в таблице 24, то изоляцию соединений делают несколько ослабленной. Крепление лобовых частей обмотки показано на рисунке 31. Внутренний радиус лобовой части обмотки после оправки должен быть на 5—10 *мм* больше радиуса расточки статора. В лобовые части обмоток с изоляцией класса А прокладывают электрокартон 0,3—0,5 *мм* и лакоткань. Начало и конец выводных проводов отмечают и выпускают через втулки.

14. РЕМОНТ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Для возбуждения генераторов применяют как электромашинные возбудители, так и полупроводниковые выпрямители. Первые обычно монтируют на общем валу с генератором, однако в некото-

Таблица 25

Неисправности возбудителей

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения неисправностей
Возбудитель не дает напряжения	Неправильное направлевие вращения	Изменить направление вращения; намагнитить машину от постороннего источника тока
	Возбудитель потерял остаточный магнетизм	То же
	Велико переходное сопротивление щеток на коллекторе, плохая притирка щеток, слабое давление щеток на коллектор, непродороженный коллектор, коллектор загрязнен или сильно окислился, чрезмерно вибрируют щетки	Очистить коллектор стеклянной шкуркой, вытереть его начисто тряпкой и отрегулировать нажим щеткодержателей
	Недостаточная скорость вращения	Проверить скорость вращения
	Обратное включение обмотки возбуждения	Переключить концы обмотки возбужденин
	Заземление параллельной обмотки в двух точках, короткое замыкание параллельной обмотки	Проверить изоляцию обмотки возбуждеиия относительно корпуса и других обмоток
	Короткое замыкание в якоре	Проверить (на неподвижном якоре) ощупыванием равномерность нагрева его поверхности. Проверить якорь дефектоскопом или милливольтметром, определить величину сопротивления изоляции якоря
	Слишком большое сопротивление цепи обмотки возбуждения	Проверить сопротивление цепи обмотки возбуждения (включая реостаты, провода и т. п.)
	Замыкание во внешней цепи возбудителя (выводы, электрический щиток, линия и т. д.)	Проверить схему и устранить замыкание
Возбудитель не возбуждается при правильной полярности полюсов и правильном вращении	Обрыв в цепи возбуждения или цепи якоря возбудителя	Отыскать при помощи лампы или индикатора место обрыва или плохого контакта, исправить повреждение
	Неправильное присоединение шунтового регулятора	Правильно соединить шунтовой регулятор с генератором
	Неправильное расположение щеток по коллектору	Проверить правильность расположения щеток на коллекторе
	Отметка на траверзе не совпадает с отметкой на щите	Установить траверзу в соответствии с отметкой

Неисправности	Возможная причина	Способ устранения неисправностей
Перегрев возбудителя	Увеличение тока возбудителя сверх номинального, возбудитель сильно перегружен	Понизить нагрузку возбудителя
	Ухудшена вентиляция возбудителя	Очистить отверстия, через которые подводится и отводится воздух из машины
	Нагрев коллектора вследствие чрезмерного нажатия щеток	Проверить и отрегулировать нажатие щеток на коллектор
Неполадки в коммутации возбудителя (искрение под щетками)	Щетки слабо прижаты к коллектору, плохая контактная поверхность щеток, биение коллектора	Проверить затяжку щеткодержателя на оси и отрегулировать нажим щеток, протереть щетки, подтянуть конуса коллектора и проточить его
	Неправильное расположение щеток	Установить щетки перпендикулярно оси полюсов
	Несоответствующий сорт щеток	Заменить щетки
	Большая разница в зазорах под полюсами возбудителя, вызывающая несимметрию магнитной системы и появление уравнительных токов; неодинаковое расстояние между щетками	Установить правильный зазор, который не должен отличаться более 10% от средней величины зазора под всеми полюсами; выравнять расстояние между щетками
	Отпайка проводников якоря от коллектора, витковые замыкания в якоре, при которых дефектная секция сильно нагревается; витковые замыкания в шунтовой обмотке возбудителя, что вызывает несимметрию магнитной цепи	Обнаружить место повреждения и устранить неисправность

рых конструкциях они приводятся во вращение при помощи клиноременных передач.

Из числа полупроводниковых выпрямителей, применяющихся для возбуждения генераторов, значительное распространение имеют селеновые выпрямительные устройства, которые используют для генераторов малой мощности с самовозбуждением, в комплексе со стабилизирующими устройствами.

Электрические машины постоянного тока, используемые в качестве возбудителей, выполняют с неподвижными полюсами и вращающимся якорем.

Якорь машины собирают из листов электротехнической стали толщиной 0,5 *мм*. Чтобы предотвратить возникновение в теле

якоря значительных вихревых токов, листы покрывают изоляционным лаком.

В пазы, образующиеся при сборке якоря, укладывают обмотку, концы которой присоединяют к коллекторным пластинам. Коллектор машины изготовляют из клинообразных пластин твердотянутой меди, изолированных друг от друга и от его корпуса.

Основные неисправности электромашинных возбудителей и способы устранения их приведены в таблице 25.

Технология ремонта возбудителей изложена в таблице 26.

Таблица 26

Технология ремонта возбудителей

Наименование	Основные ремонтные операции
Возбудитель	Разобрать возбудитель, снять полумуфту или шкивы, подшипниковые щиты и вынуть якорь Отремонтировать станину, якорь и другие части возбудителя Собрать возбудитель, надеть шкив или полумуфту и передать на испытание
Якорь возбудителя	Снять неисправную обмотку, очистить пазы от старой изоляции, устранить распушение и другие неисправности якоря
Подшипниковые щиты	Очистить, заварить трещины, восстановить размеры гнезд для подшипников
Подшипники качения	Снять с вала и насадить новые подшипники
Вал, шпоночные канавки, шейки, посадочные места	Выправить вал, зачистить шпоночные канавки и подогнать шпонки, восстановить размеры шеек и посадочных мест
Коллектор	Проверить и восстановить изоляцию, рабочую поверхность коллектора, присоединить обмотку к коллектору
Обмотка возбудителя	Изготовить катушки, подготовить новую изоляцию пазов, уложить обмотку и закрепить клиньями, соединить схему и заварить (или запаять), пропитать и просушить обмотку
Полюса и полюсные катушки	Выправить перекосы и распушение полюсов, изготовить и насадить новые полюсные катушки, прикрепить на свои места и сделать межкатушечные соединения
Щеткодержатели и щетки	Проверить и заменить щеткодержатели, пружины и другие части щеткодержателей, заменить и пригнать щетки, сделать необходимые соединения

Разборка возбудителя. Перед разборкой наносят метки, указывающие взаимное расположение отдельных частей, и отвертывают болты, снимают защитный кожух возбудителя и одновременно проверяют исправность резьбы на болтах, винтах и в гнездах.

Отъединяют провода от возбудителя к шунтовому регулятору и от коллектора к контактным кольцам ротора генератора, поднимают над коллектором щеткодержатели со щетками. В генераторе типа СГ вывертывают болты, крепящие возбудитель к подшипниковому щиту, отделяют подшипниковый щит генератора или корпус возбудителя от подшипникового щита и снимают его.

Далее вынимают щетки из щеткодержателей, отвертывают болты, крепящие щеточную траверзу и вынимают ее из корпуса, предварительно отъединив провода от щеткодержателей к корпусу возбудителя. Годные для дальнейшей работы щетки и провода завертывают в кабельную бумагу и надписывают номер. Отвертывают болты и отделяют полюса от корпуса, снимают шунтовые катушки, предварительно разъединив их. Полюса и катушки перед снятием с места нумеруют, чтобы сохранить их взаимное расположение при сборке машины. Для сохранения связи катушек между собой составляют схему их соединений.

Отвертывают контргайку, при помощи которой якорь укреплен на валу генератора, снимают якорь с вала.

Посадочное место на валу генератора закрывают кабельной бумагой или хлопчатобумажной тканью.

При разборке применяют следующий набор инструмента и оборудование: слесарный молоток, разводной гаечный ключ, съемник, кернер, электрический паяльник, универсальную отвертку, комбинированные плоскогубцы, а также тельфер или консольно-поворотный кран грузоподъемностью 250 *кг*.

При разборке возбудителя, не установленного на валу генератора, применяют технологию разборки обыкновенной электрической машины постоянного тока.

15. РЕМОНТ ЯКОРЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ

Изготовление секций якоря. Для изготовления обмотки якоря возбудителя применяют обмоточные провода ПБД, ПЭЛБО, ПБО, ПЭВ и ПЭМ. Использование обмоточных круглых проводов допускается, если коэффициент заполнения пазов якоря достаточно высок.

При ремонте якоря обычно применяют ту же прямоугольную медь, из которой были выполнены старые секции. Изоляцию удаляют ножом, после чего медь зачищают стеклянной шкуркой. Лучше удалять старую изоляцию с шинной меди обжигом при температуре 400—500° или химическим способом. После обжига медь подвергают травлению, затем нейтрализации и сушке. При химическом способе удаления изоляции применяют 15—20-процентный раствор каустической соды, предварительно подогретый до 60—80°.

Новую изоляцию из батистовой ленты накладывают в полуперекрытие толщиной 0,1—0,12 *мм*.

Секции якорной обмотки выполняют круглым обмоточным проводом при достаточном коэффициенте заполнения паза и се-

чении провода до 16 *мм*². При сечении провода более 16 *мм*² катушки выполняют из обмоточных проводов прямоугольного сечения. Если число проводников в секции из круглого медного

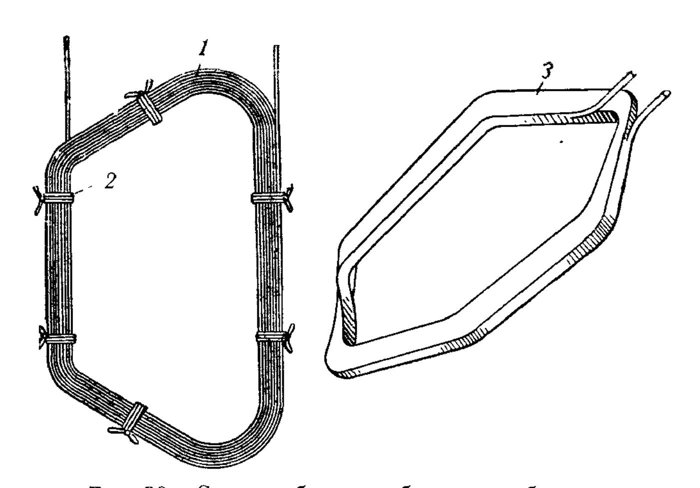


Рис. 32. Секция обмотки, обжатая скобочками:

1 — неизолированная секция; 2 — скобочки; 3 — секция с наложенной изоляцией.

провода большое и используемый провод имеет диаметр меньше 1 *мм*, то их можно наматывать на шаблон «внавал». В процессе намотки проволочной секции проводники осаживают молотком

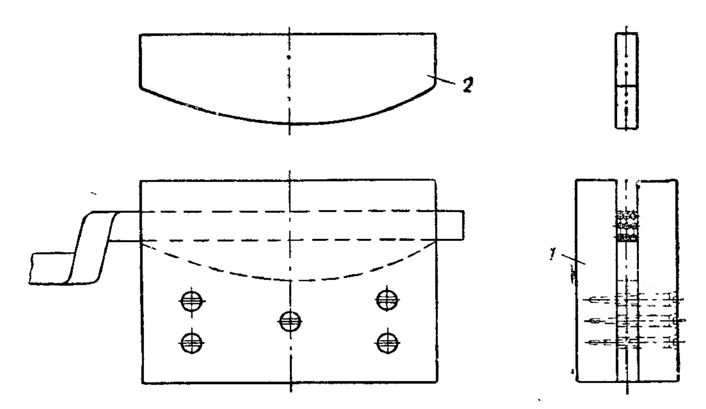


Рис. 33. Приспособление для выгибания лобовых частей обмотки:

1 — неподвижная часть; 2 — подвижная часть.

через фибровую прокладку. Окончив намотку, ее обжимают скобочками (рис. 32), затем раскрывают шаблон, вынимают из шаблона и изолируют в пазовой и лобовой частях тафтяной лентой.

Изоляционную ленту не применяют, так как она препятствует проникновению лака внутрь при пропитке секции. Секции «всыпных» обмоток после снятия с шаблона не изолируют. В места перегибов и на концы секции накладывают усиленную изоляцию.

Для растяжки секций применяют специальные приспособления. Расстояния между пазовыми частями секций после их растяжки должны быть равны шагу секции по пазам. Если нужно изготовить секции с прямоугольными головками, лобовые части

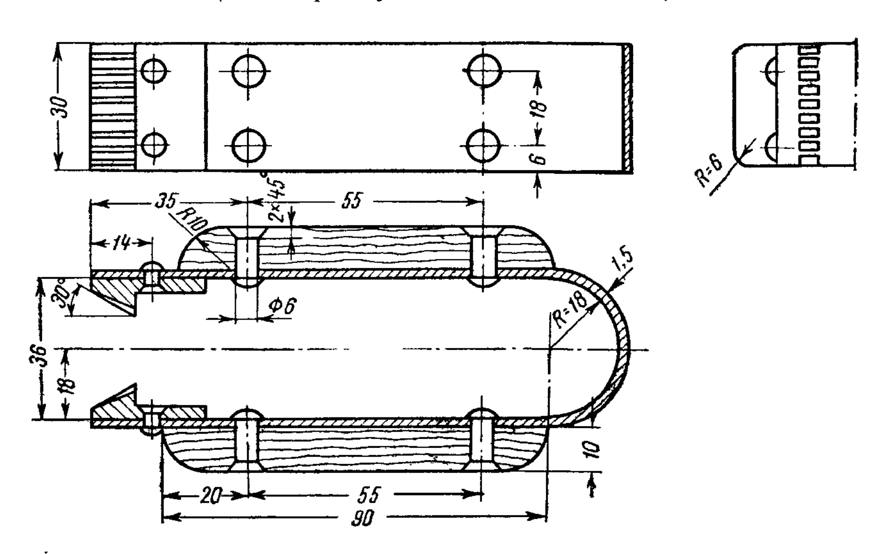


Рис. 34. Приспособление для зачистки концов секций (размеры в *мм*).

перед растяжкой зажимают в кулачки или подковообразные приспособления. При изготовлении секций со скошенными головками этого не делают.

Лобовую часть секции выгибают на шаблоне по форме окружности якоря (рис. 33). Такой способ выгибания секций применяют для стержневых или шинных секций. Секции из мягкого металла выгибают непосредственно на якоре во время укладки в пазы. Изготовленные секции должны иметь облуженные концы для зачистки которых, особенно мягких секций, применяют специальное приспособление (рис. 34). На некоторых ремонтных предприятиях концы секций зачищают на станках вращающимися проволочными дисками. Эти диски во время вращения снимают изоляцию и окисленную поверхность меди.

При лужении применяют специальные ванны и электрические паяльники. Перед лужением припоем ПОС-40 концы секций смазывают 15—20-процентным раствором канифоли в спирте.

Ремонт обмотки якоря. К основным неисправностям обмотки якорей возбудителей относятся: низкое сопротивление изоляции,

замыкание обмотки на корпус или замыкание витков обмотки между собой, распаивание соединений и обрывы проводников, разрушение обмотки в результате проседания якоря, неисправные соединения секции с коллектором или между собой. Эти неисправности можно обнаружить мегомметром, электролампой, магнитным ярмом, милливольтметром и другими приборами.

Для проведения ремонта обмотки якоря возбудителя ротор генератора вместе с якорем или якорь возбудителя отдельно устанавливают на козлы, затем очищают сухой тряпкой или продувают сжатым воздухом коллектор, обмотку и сталь якоря от

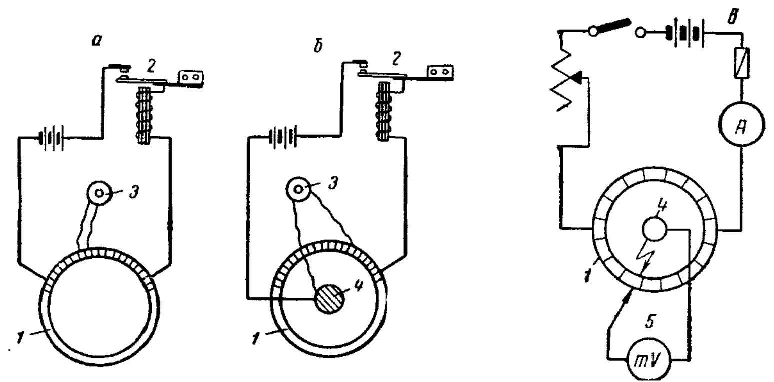


Рис. 35. Схемы проверки обмотки якоря.

а — определение места замыкания между пластинами; *б* и *в* — определение мест замыкания пластин на «корпус»; *1* — коллектор; *2* — прерыватель; *3* — телефон; *4* — вал; *5* — милливольтметр.

угольной пыли и других загрязнений. Масло удаляют бензином. Так как вместе с воздухом может попасть влага, перед продувкой часть воздуха нужно выпустить в атмосферу. Струю сжатого воздуха лучше направлять на чистые полированные предметы. Если водяных капель на поверхности обдуваемых предметов не обнаружено, приступают к продувке якоря электрической машины сжатым воздухом.

Замыкание обмотки якоря на корпус обнаруживают при помощи мегомметра или электрической лампочки. Для уточнения места замыкания пользуются специальными установками (рис. 35).

Замыкание витков обмотки между собой определяют дефектоскопом (магнитным ярмом) или милливольтметром. Если для устранения неисправности якорной обмотки требуется полная разборка якоря, то сначала нужно распаять коллектор и вынуть концы секций из петушков, затем распаять и снять бандажи. При распайке следует предохранить изоляционные конуса и пластины коллектора от порчи и не допускать замыкания пластин припоем. Нужно также зафиксировать шаг по коллектору и положение одной коллекторной пластины относительно шага этой же

секции, затем выбить клинья и удалить обмотку. Обмотку из круглого провода удаляют без сохранения формы секции, а при выемке секций из прямоугольной меди их укладывают в том порядке, в котором они находились в пазах якоря. Клинья и секции из меди прямоугольного профиля сохраняют. Для проведения ремонтных операций используют инструменты и приспособления, указанные на рисунке 36.

Затем удаляют изоляцию из пазов, прочищают и продувают их сжатым воздухом. При выполнении этой работы нужно следить за тем, чтобы не испортить изоляцию торцовых частей стали якоря. Кроме того, надо защитить коллектор от попадания металлических опилок и различных загрязнений.

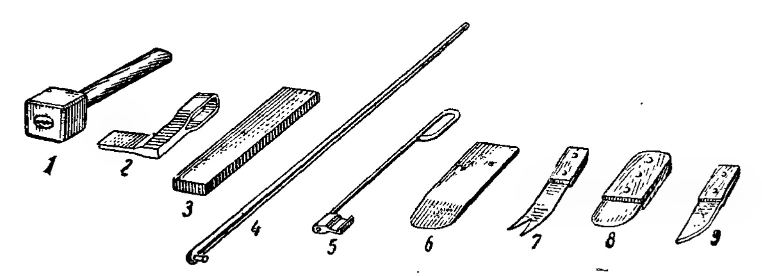


Рис. 36. Инструмент для обмотчика:

1 — молоточек; 2, 4 и 5 — сапожки; 3 и 6 — оправки; 7 — специальный нож для обрезки прессшпана и клиньев в пазах электрических машин; 8 и 9 — специальные монтерские ножи.

При разборке якоря возбудителя обязательно фиксируют число пазов и шаг по пазам, размеры и форму пазов, число активных проводников в пазу, число параллельных проводников, тип обмотки (волновая или петлевая), диаметр (размеры) голой, а также марку изолированной меди, материала и размеры изоляции, шаг по коллектору и число коллекторных пластин, расположение пластин коллектора относительно паза с той же секцией, длину лобовой части обмотки и ее изоляцию, число бандажей, изоляцию и ее размеры, диаметр и число витков проволоки, исполнение обмотки (секционная или ручная).

В вынутых секциях очищают и лудят концы, не допуская снижения сечения меди. Для лужения применяют припой ПОС-40; для флюса используют канифоль на спирте. Новую секцию или оставленную старую изолируют вполнахлеста батистовой лентой размером 0,12 × 15 *мм* (рис. 37).

В практике наблюдаются также дефекты обмоток, возникающие в результате механических повреждений и от перегрева электрических машин. Превышение температур электрических обмоток выше установленных ГОСТом приводит к разрушению отдельных спаек секций между собой и коллектором. Для определения таких неисправностей применяют милливольтметры, дефектоскопы, мегомметры и другие приборы.

В зависимости от того, где обнаружено место повреждения, применяют различные методы ремонта. Места обрыва проводов секций между собой паяют или сваривают. Нарушения спаек проводов с коллектором или его петушками паяют припоем ПОС-50 или ПОС-60.

Если нарушение обмотки произошло вследствие проседания якоря, необходимо разобрать электрическую машину и установить степень неисправности. При незначительном нарушении изоляции обмотки следует переизолировать отдельные провода и отдельные секции с последующей их укладкой в пазы.

Если обмотка якоря пришла в полную негодность, следует ее перемотать. В том и другом случае нужно обязательно проверить износ посадочных шеек вала в подшипниках, а также состояние самих подшипников. Если они для дальнейшей эксплуатации непригодны, заменить их. При необходимости нужно отремонтировать вал.

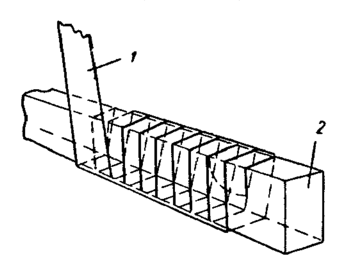


Рис. 37. Наложение изоляции вполнахлеста:

1 — изолирующая лента (тафтяная или киперная); 2 — изолируемый проводник.

Укладка обмотки в пазы якоря. Для машин мощностью до 5 *квт* применяют полузакрытый паз с укладкой секций через прорезь. Обмотку выполняют двухслойной. Якоря более мощных машин имеют открытые пазы, в которые укладывают заранее отформованные секции. Перед их укладкой подготавливают весь комплект якоря. Изоляцию обмотки выполняют по указаниям завода-изготовителя и данным, установленным при размотке якоря.

Для изоляции обмотки якоря по классу А применяют следующие материалы:

а) для изоляции паза якоря — два слоя электрокартона марки ЭВ толщиной 0,2 *мм* и один слой лакоткани толщиной 0,10—0,17 *мм*; электрокартон марки ЭВ можно заменить маркой ЭВЛ; в случае высокого заполнения пазов якоря применяют электрокартон толщиной 0,4 *мм* в один слой;

б) при шаблонной обмотке якоря для изоляции используют прокладку из электрокартона марки ЭВ или ЭВЛ толщиной 0,3 *мм*. Для изоляции лобовой части секций применяют также тафтяную и киперную ленту, а для изоляции лобовой части якоря при ручной проволочной обмотке — лакоткань;

в) для изоляции сторон секции в пазу — электрокартон марки ЭВ толщиной 0,3 *мм*; для изоляции по классу В пазовой и лобовой частей якоря — микофолий толщиной от 0,20 до 0,30 *мм* и микаленту.

Качество изоляционных материалов классов А и В проверяют наружным осмотром, а если нет данных заводских испытаний, испытывают три образца на электрическую прочность пробивным напряжением.

Изоляцию пропитывают масляным лаком (например, битумно-масляным составом и др.). При укладке пазовой изоляции обращают внимание на изоляцию торцовых частей стали и в случае необходимости восстанавливают ее. Перед укладкой пазовую часть изоляции выгибают на деревянной оправке по форме паза.

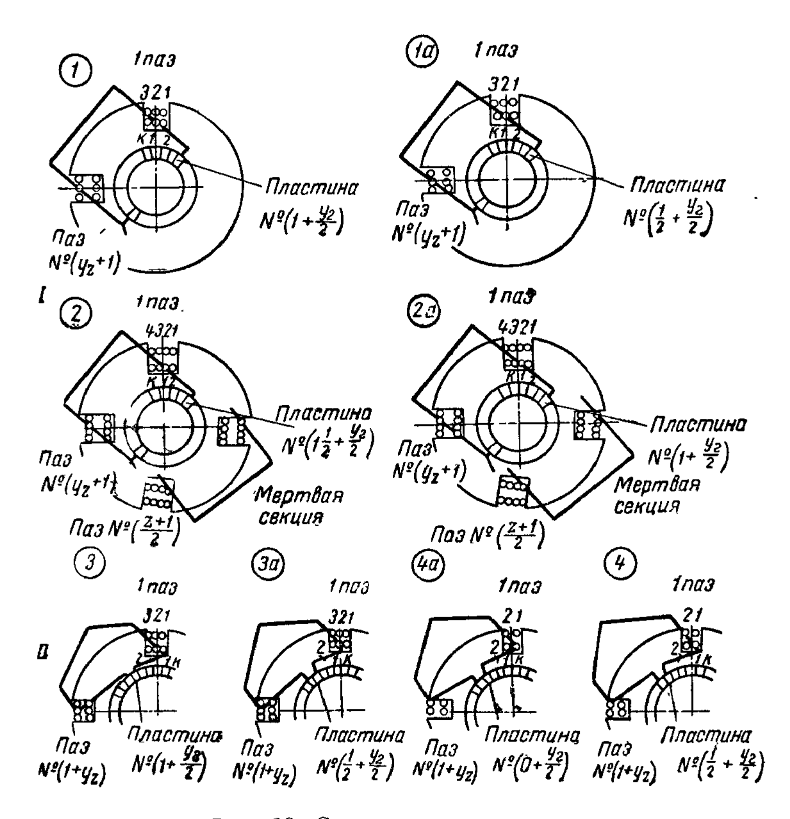


Рис. 38. Схема разметки якоря:

$u_К$ — число коллекторных пластин на 1 паз; $y_z(y_{1n})$ — шаг по пазам; $y_2(y_{2К})$ — второй (передний шаг), выраженный числом коллекторных пластин: $y_2 = y_К - y_z \cdot u_К$, где $y_К$ — шаг по коллектору; *I* — волновая обмотка: 1—$u_К$ — нечетное; y_2 — четное; центр паза совпадает с центром пластины; 1а—$u_К$ — нечетное; y_2 — нечетное; центр паза совпадает с изоляцией между пластинами; 2—$u_К$ — четное; y_2 — нечетное; центр паза совпадает с центром пластины; 2а—$u_К$ — четное; y_2 — четное; центр паза совпадает с изоляцией между пластинами. Примечание. В случаях 2 и 2а щеткодержатели должны быть сдвинуты на $^1/_8$ коллекторного деления, смотря со стороны коллектора. II — петлевая обмотка: 3—$u_К$ — нечетное; y_2 — четное; центр паза совпадает с центром пластин; 3а—$u_К$—нечетное; y_2 — нечетное. Центр паза совпадает с изоляцией между пластинами; 4—$u_К$— четное; y_2 — нечетное. Центр паза совпадает с центром пластины; 4а—$u_К$ — четное; y_2 — четное; центр паза совпадает с изоляцией между пластинами. Обозначения: $u_К$— число коллекторных пластин на паз (—u); y_z — шаг по пазам — (I_{1n}); y_2 — второй (передний шаг, выраженный числом коллекторных пластин ($I_{2К}$); $I_2 = I_К - I_z \cdot u_К$, где $I_К$ — шаг по коллектору.

Лакоткань кладут между слоями электрокартона, а последний толщиной 0,1 *мм* — к стенке паза. Лобовые части нужно изолировать лакотканью и хлопчатобумажной лентой.

Пазы в якоре могут быть открытыми или полузакрытыми. Поэтому в некоторых случаях приходится выполнять обмотку якоря вручную. Концы проводов закладывают в петушки коллектора в следующем порядке: нижние концы — в процессе укладки проводников в пазы якоря, верхние — после укладки. Обмотку укладывают по шагу коллектора и заданному расположению пластин относительно паза. Разметка якоря и коллектора указана на рисунке 38.

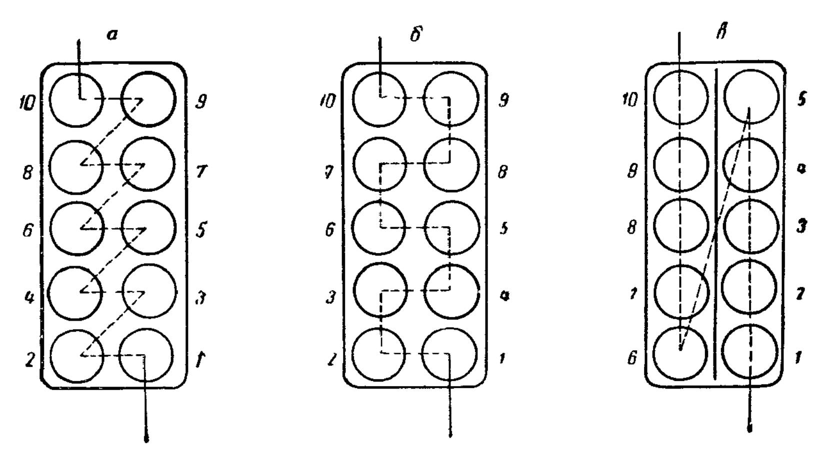


Рис. 39. Укладка секции в пазы якоря и порядок намотки:

а — минимальное напряжение между ближайшими соседними проводами *1—3*; *б* — *1—4*; *в* — *1—6*.

Оси симметрии якоря и коллектора при четком шаге обмотки проходят через середину паза, а при нечетном — через середину зубца. Оси симметрии по коллектору проходят так: с четным шагом обмотки — через середину коллекторной пластины, с нечетным шагом — через изоляцию между коллекторными пластинами.

В открытых пазах обмотку укладывают целыми секциями по шагу. Укладка протяжной обмотки связана с наличием электрического напряжения между витками; порядок намотки должен обеспечить наименьшее напряжение между соседними витками. Такому требованию удовлетворяет поперечная зигзагообразная последовательность укладки (рис. 39,*а*); поперечная укладка (рис. 39,*б*) дает большие напряжения, так как рядом окажутся витки *1* и *4*; при первой же укладке рядом находятся витки *1* и *3*. Продольная укладка (рис. 39,*в*) дает еще бо́льшие напряжения. Нижние концы секции закрепляют в петушках коллектора. Верхние концы укладывают последними.

Между слоями в лобовых частях прокладывают изолирующий электрокартон толщиной 1 *мм* в 2—3 слоя. Для межсекционной изоляции используют электрокартон толщиной 0,3 *мм*. Концы проводов готовой обмотки, выведенные к коллектору, изолируют хлопчатобумажной лентой размером 0,25 × 20 *мм*. Клинья, сделанные из фибры, клена, березы и бука, забивают в пазы так же, как и при изготовлении статорной обмотки.

После укладки обмотки проверяют правильность расположения концов секций в петушках коллектора. Для этого применяют милливольтметр с источником постоянного тока напряжением 6 *в*. Показания прибора должны быть одинаковыми по полярности. Перед проверкой коллектор очищают от медной пыли, следов олова и заусенцев, которые могут привести к замыканиям между пластинами и исказить результаты измерений.

Затем милливольтметром проверяют следующие неисправности: замыкание между витками соседних секций и внутри их, перекрещивание двух нижних и верхних концов секций (двойной крест), замыкание между проводниками верхнего и нижнего слоев обмотки, обрыв проводников и распаивание соединений, замыкание между соседними коллекторными пластинами.

Закрепление обмотки (бандажирование), пайка, пропитка и сушка якоря. Обмотку стягивают бандажом из стальной проволоки, которую укладывают в канавки на якоре и на лобовые части обмотки.

Концы секций в петушках коллектора припаивают, а перед пайкой отрубают выступающие из петушков концы секций. Затем якорь в вертикальном положении опускают в паяльную ванну.

Если пайку проводят паяльником, то вал якоря устанавливают наклонно в сторону коллектора на 5—10°. Пайку проводят припоем, в качестве флюса применяют канифоль. Следующей операцией является проточка коллектора. Перед проточкой коллекторные гайки или болты подтягивают специальным ключом. Затем осматривают всю пайку и, при необходимости, паяют вновь. Чтобы удалить наплывы припоя, делают повторную проточку, но с минимальной стружкой. Качество пайки проверяют милливольтметром. При плохой пайке и обрыве показания прибора будут максимальными, а при замыкании отдельных пластин равны нулю.

Обмотку якоря проверяют также на витковое замыкание, а изоляцию — на электрическую прочность. На концы секций, около петушков коллектора, накладывают бандаж из круглого шпагата.

Перед пропиткой лаком якорь просушивают в течение 3—8 часов при температуре 105—120°, затем опускают в раствор лака № 458 или 447, налитый в специальную ванну (коллектор в лак погружать нельзя). Затем сушат при температуре 110—115° в течение 6—8 часов. Время окончания сушки определяют величиной сопротивления изоляции, которая должна быть не менее

1 мегома при 80°. После сушки на лобовые части обмотки, находящиеся в горячем состоянии, наносят ровно и без наплывов покровный лак или эмаль СПД и помещают якорь на 6—8 часов в сушильную камеру с калорифером при температуре 110—115°. Температуру контролируют термометром или термопарой. Для сушки применяют также специальные инфракрасные лампы с внутренними или внешними рефлекторами.

Обмотку якорей машин, работающих в помещениях с повышенной влажностью (например, ГЭС), пропитывают не менее двух раз, после каждой пропитки сушат, проверяют сопротивление изоляции обмоток и полюсных катушек при температуре 80°,

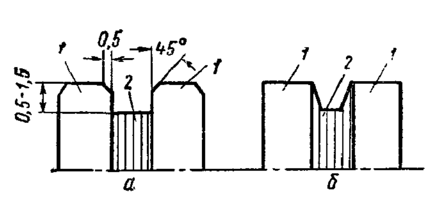


Рис. 40. Продороживание изоляции между пластинами коллектора: *а* — правильно; *б* — неправильно;

1 — пластины коллектора; 2 — миканит (размеры в *мм*).

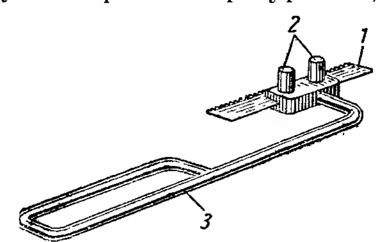


Рис. 41. Приспособление для продороживания коллектора:

1 — ножовочное полотно со сточенной режущей частью; 2 — болты; 3 — рукоятка приспособления.

которое должно быть не менее 1 мегома. На лобовые части обмотки в горячем состоянии дважды наносят покровный лак. Сопротивление изоляции обмоток после остывания должно находиться в пределах, близких к бесконечности.

Обмотку якорей возбудителей, работающих в сухих помещениях, пропитывают один раз, сушат и покрывают лаком. Если у якоря возбудителя ремонтировали только механические части, целесообразно просушить обмотку перед покрытием лаком.

Изоляцию на цилиндрической поверхности коллектора между пластинами прорезают (продороживают) на глубину 0,5—1,5 *мм* (рис. 40) на приспособлении с фрезой или специальным ножом (рис. 41). Заусенцы краев пластин снимают специальным ножом, после чего поверхность коллектора зачищают стеклянной шкуркой на токарном станке. При значительных заусенцах поверхность коллектора перед зачисткой протачивают с минимальной стружкой. Применение наждачной бумаги не допускается. Якорь балансируют на универсальном балансировочном стенде УБС. Дисбаланс устраняют напайкой припоя на бандажах и высверливанием тела якоря. Если все описанные операции выполнялись на якоре, предварительно снятом с вала ротора генератора и насаженном на ложный вал, то после балансировки выпрессовывают ложный вал, надевают якорь на вал ротора и проверяют, нет ли замыкания. Якорь насаживают стальной трубой при помощи пресса.

Труба должна иметь диаметр, несколько больший диаметра внутренней втулки якоря.

Изолирование обмоткодержателей якоря. Для укрепления лобовых частей обмоток применяют обмоткодержатели конструкций, указанных на рисунках 42, 43 и 44:

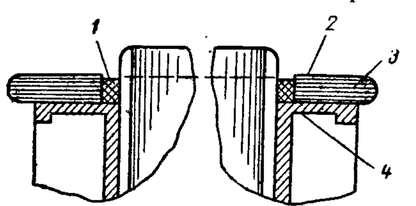


Рис. 42. Цилиндрический обмоткодержатель, прилегающий к активной стали якоря или ротора:

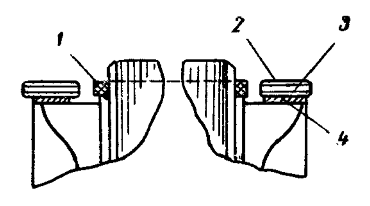
1 — изоляция бортика; 2 — полотно; 3 — изоляция; 4 — обмоткодержатель.

а) в виде цилиндрической поверхности, прилегающей к активной стали якоря или ротора или отстоящей от стали на некотором расстоянии;

б) в виде кольца, укрепленного при помощи кронштейнов на нажимной шайбе якоря или ротора.

Технология изолирования держателей заключается в следующем: устанавливают якорь или ротор на козлы, протирают поверхность держателей концами, смоченными в бензине, уайт-спирите или ксилоле, покрывают их лаком № 462 или эмалью СВД (КВД) и просушивают на воздухе при 20—29° в течение 3—6 часов.

Изоляцию набирают из отдельных полос, которые склеивают шеллачным или бакелитовым лаком, сдвигая каждый слой относительно соседнего не менее 15 *мм* (рис. 45).



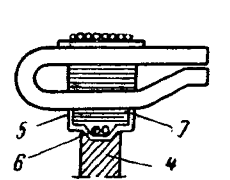


Рис. 43. Цилиндрический обмоткодержатель, отстоящий на некотором расстоянии от активной стали якоря или ротора:

1 — изоляция бортика; 2 — хлопчатобумажное полотно (внахлест); 3 — изоляция; 4 — обмоткодержатель; 5 — хлопчатобумажное полотно; 6 — бандаж из шпагата; 7 — изоляция.

Цилиндрическую наружную поверхность держателей обмотки промазывают клеящим лаком и накладывают на нее хлопчатобумажную ткань. Если на держателях есть выточка, то после полотна следует наложить бандажи из нескольких витков шпагата и промазать каждый виток клеящим лаком.

Изоляцию, набранную из отдельных полос, укладывают так, как показано на рисунке 46: сначала закрепляют при помощи деревянного клина в пазу якоря (ротора) конец мотка киперной

ленты, затем накладывают заготовку изоляции на обмоткодержатель под ленту и, поворачивая якорь, плотно прижимают ее к поверхности держателя. После этого изоляцию обстукивают деревянным молотком. Концы заготовок по всей окружности обмоткодержателя соединяют так, чтобы каждый слой предыдущей заготовки приходился встык к началу последующей (рис. 47).

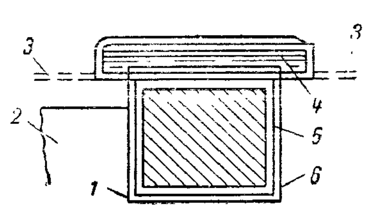


Рис. 44. Кольцевой обмоткодержатель:

1 — узел вязки; 2 — кронштейн; 3 — край полотна; 4 — изоляция обмоткодержателя; 5 — изоляция кольца; 6 — лента для вязки полотна обмоткодержателя.

На изоляцию держателя обмотки накладывают вполнахлеста с натягом слой киперной ленты и проглаживают горячим утюгом. Миканитовую изоляцию проглаживают до тех пор, пока киперная лента не обуглится. Затем киперную ленту удаляют и накладывают вполнахлеста слой тафтяной ленты.

Наложенную хлопчатобумажную ткань завертывают на изоляцию обмоткодержателя и тщательно разглаживают по всей

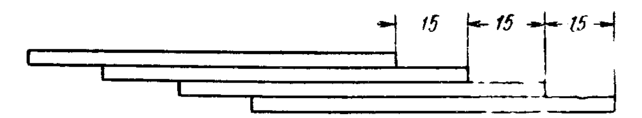


Рис. 45. Порядок склеивания изоляции (размеры в *мм*).

окружности, чтобы не было пузырей и морщин, а для лучшей укладки ткань подрезают в 6—8 местах. Затем подшивают край ткани к ленте или к нижнему ее слою, покрывают поверхность изолированного обмоткодержателя эмалью СВД и просушивают на воздухе.

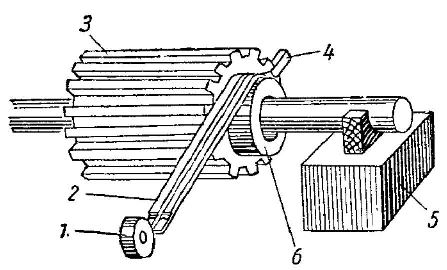


Рис. 46. Укладка изоляции:

1 — моток киперной ленты; 2 — изоляция, набранная из отдельных полос; 3 — активная сталь якоря; 4 — клин, закрепляющий конец временной киперной ленты; 5 — опора с деревянным подшипником; 6 — свисающий край полотна.

Поверх изоляции бортика накладывают один слой киперной ленты по его ширине (25—30 *мм*), обрезают ленту и пришивают край. Ткань, уложенную на цилиндрические обмоткодержатели поверх изоляции, завертывают внахлест и верхний край подшивают к нижнему. Хлопчатобумажную ткань, наложенную на кольцо держателя, подвязывают лентой к кольцу через равные промежутки; ленту пропускают через вырезы в ткани и завязывают узлом. На изолированном обмоткодержателе не

должно быть воздушных мешков и вздутий изоляции. Размеры свисающего конца изоляции и наружной кромки держателя

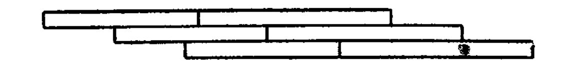


Рис. 47. Соединение концов заготовок изоляции.

обмотки должны быть выдержаны по чертежу и быть не менее 10 *мм*. Качество запечки изоляции проверяют простукиванием поверхности.

16. НАЛОЖЕНИЕ БАНДАЖА И БАЛАНСИРОВАНИЕ РОТОРА (ЯКОРЯ)

Нормальное положение обмотки во время работы машины сохраняется благодаря бандажам, выполненным из стальной проволоки. Бандажи накладывают на токарном станке с приспособлением для натяжения проволоки или при помощи устройства, показанного на рисунке 48.

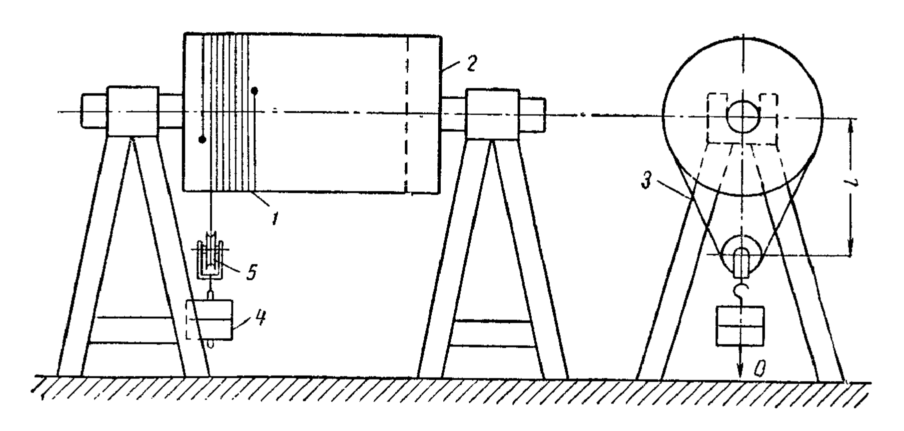


Рис. 48. Приспособление для наложения бандажа роторов и якорей:
1 — бандаж; 2 — ротор; 3 — петля; 4 — груз; 5 — блок.

Величина напряжения бандажной проволоки указана в таблице 27.

При наложении бандажа один конец бандажной проволоки закрепляют в какой-либо точке ротора и временно наматывают нужное число витков. Конец последнего витка протягивают через блок и также закрепляют на роторе. К обойме блока, после закрепления второго конца бандажа, подвешивают груз и вращают ротор в обратную сторону; витки временно намотанной проволоки разматываются, петля с грузом перемещается вдоль оси ротора

Таблица 27

Натяжение бандажной проволоки

Диаметр проволоки (в *мм*)	Рекомендуемое натяжение (в *кг*)	Вес 1000 *пог. м* (в *кг*)	Диаметр проволоки (в *мм*)	Рекомендуемое натяжение (в *кг*)	Вес 1000 *пог. м* (в *кг*)
0,5	12—15	1,54	1,0	50—60	6,17
0,6	17—20	2,22	1,2	65—80	8,87
0,7	20—25	3,02	1,5	100—120	13,8
0,8	30—35	3,95	2,0	180—200	24,7
0,9	40—45	5,0			

и бандаж накладывается с нужным, постоянным натяжением. Величину подвешиваемого груза определяют по формуле:

$$Q = P_1 \sqrt{4 - \left(\frac{D-d}{l}\right)^2}\ кг,$$

где P_1 — необходимое натяжение проволоки по таблице 27;
D — диаметр намотки бандажа (в *мм*);
d — диаметр блока (не менее 60 *мм*);
l — расстояние (в *мм*) между осями ротора и блока (минимальное расстояние не должно быть меньше 1,6 диаметра обмотки).

Места наложения бандажа должны быть чистыми, без заусенцев. При наложении первого витка бандажной проволоки на лобовых частях обмотки под него подкладывают изоляционную полоску из гибкого миканита толщиной 0,5 *мм*, а поверх — электрокартон толщиной 0,25—0,5 *мм*. Изоляция должна быть шире накладываемого бандажа на 10 *мм*. Ширина изоляционной полоски, укладываемой по дну канавки, должна равняться ширине канавки под бандаж (рис. 49). Для изоляции используют полоску из электрокартона толщиной 0,3 *мм*, которую соединяют встык. Поверх изоляции под проволоку закладывают скобочки из белой жести толщиной 0,25 *мм* (для бандажной проволоки диаметром 0,6—1,2 *мм*) и 0,36 *мм* для проволоки диаметром 1,5—2 *мм*. Ширина скобочек должна быть 15—20 *мм* для замковых и 8—10 *мм* для промежуточных скобочек, а длина такой, чтобы на загиб с обеих сторон оставалось по 10 *мм*.

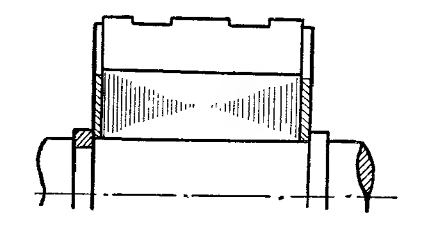


Рис. 49. Якорь генератора типа СГ-35/6 с расположением бандажных канавок.

Скобочки закладывают равномерно по всей окружности ротора через каждые 70—90 *мм* длины. В месте закрепления начала и

конца бандажа закладывают две замковые скобочки на расстоянии 10—30 *мм* одна от другой. В коллекторных машинах число скобочек на бандажах без сплошной проволоки должно быть равно числу полюсов. После этого накладывают слой бандажа в направлении от стали якоря к краю лобовых частей.

Витки для плотной укладки подбивают при помощи фибровой подбойки и молотка. В многослойных бандажах каждый последующий слой отделяют полоской из асбестовой бумаги. После намотки бандажа все скобочки загибают, плотно подбивают их молотком, пропаивают и обрезают оба конца бандажной проволоки; качество пайки проверяют на отгиб тонким ножом.

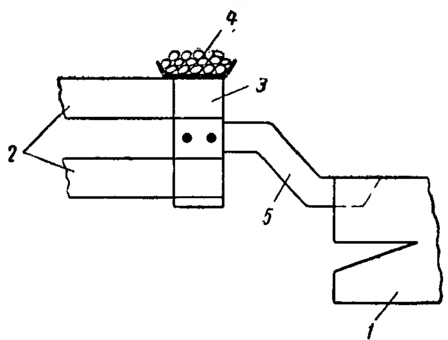


Рис. 50. Схема соединения обмотки с коллектором:

1 — коллекторная пластина; 2 — концы обмотки; 3 — хомутик; 4 — бандаж; 5 — выносной петушок.

Для предохранения витков бандажа от распускания при обрыве всю поверхность бандажа пропаивают электрическим паяльником (припоем ПОС-40). В многослойных бандажах, накладываемых на обмотки в лобовых частях, каждый слой пропаивают отдельно.

У якорей, обмотки которых соединены с коллектором при помощи хомутиков с хвостиками, ставят по два однослойных бандажа: один — на лобовой части (большой) и второй (малый) — на хомутиках (рис. 50).

Большой бандаж из стальной проволоки ставят, отступя на 20—25 *мм* от внутреннего края петушка, со стороны коллектора и на такое же расстояние от хомутика с задней стороны якоря. При пайке следят за тем, чтобы капли припоя не затекали в пазы и промежутки между лобовыми частями обмотки. Поверхность пайки бандажа зачищают металлической щеткой. Слой напайки не должен выступать за пределы окружности якоря (ротора). После бандажирования проверяют мегомметром напряжением 500—1000 *в* сопротивление изоляции бандажа по отношению к обмотке и обмотки к корпусу. При вращении якоря (ротора) в бандаже возникают вихревые токи, которые, нагревая бандажи и обмотку, увеличивают потери, снижают к.п.д. и приводят к распайке бандажей. Для уменьшения потерь изменяют осевую длину бандажа, разделяют широкие бандажи на отдельные узкие секции и применяют немагнитную проволоку. Общая осевая длина бандажей на пазовой части обмотки не должна превышать 25—35% длины стали, а осевая длина отдельной секции должна быть не более 15—20 *мм*. В синхронных неявно полюсных машинах (1500 и 3000 *об/мин*) все бандажи делают немагнитными. Осевая длина

отдельной секции на лобовой части обмотки не должна превышать 40 *мм*. Если уменьшить длину бандажной секции нельзя, витки бандажа разделяют асбестовой лентой (рис. 51).

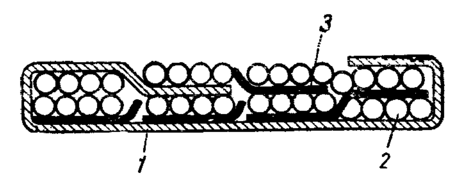


Рис. 51. Бандаж с разделенными витками:

1 — скоба; 2 — витки бандажной проволоки; 3 — асбестовая лента.

Якоря и роторы после ремонта и установки бандажей балансируют. Для машин с коротким ротором и скоростью вращения вала не свыше 1000 *об/мин* применяют статическую балансировку, а со скоростью вращения выше 1000 *об/мин*, а также специальных машин с удлиненным ротором — динамическую, которой предшествует статическая. Статическую балансировку проводят на призмах, в центрах токарного станка или на универсальном балансировочном стенде УБС (рис. 52).

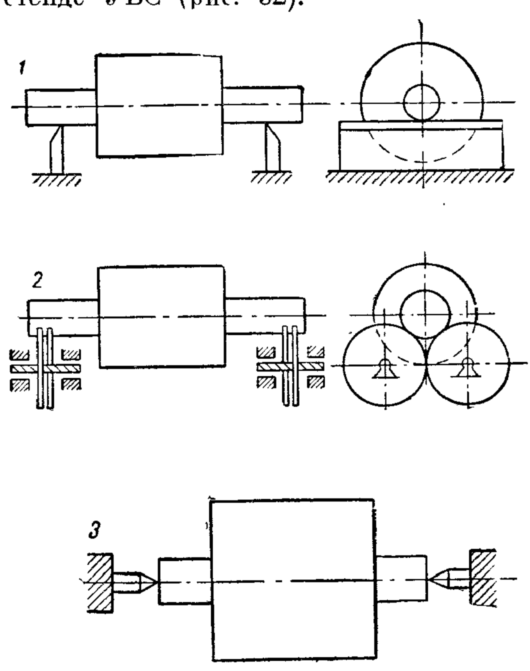


Рис. 52. Статическое балансирование:

1 — на призмах; 2 — на дисках; 3 — в центрах.

Ротор (якорь) в сборе с вентилятором и контактными кольцами устанавливают шейками вала на диски стенда УБС и медленно вращают. При поворотах ротора на каждые 45—60° он не должен самопроизвольно поворачиваться относительно горизонтальной оси. Балансировку проверяют для шести-восьми положений

ротора. Если ротор в каком-либо положении поворачивается, его уравновешивают уменьшением или добавлением грузов с диаметрально противоположной стороны.

Вначале для уравновешивания крепят временные грузы из мастики, которые легко прикрепляются к ротору; затем правильно выбранные грузы снимают и взвешивают, а вместо них подбирают равные по весу постоянные металлические и надежно закрепляют их сваркой или винтами в местах крепления временных грузов.

Свинцовые грузы забивают в специальные канавки, выполненные по форме ласточкина хвоста. Для роторов с алюминиевой заливкой, а также со специальными балансировочными дисками или кольцами высверливают металл с утяжеленной стороны. Иногда для равновесия с утяжеленной стороны ротора снимают часть материала напильником или зубилом. Вес и место расположения грузов при динамическом балансировании определяют методом вращения ротора на упругих опорах. Для этого используют специальные станки или подшипниковые стойки, установленные на резиновых прокладках; каждую сторону балансируют отдельно (с той или другой свободной опорой), ротор разгоняют попеременно в разные стороны. Качество балансировки оценивают величиной биения (вибрации).

17. СУШКА И ПРОПИТКА ОБМОТОК

Обмотку сушат в печах или шкафах методом потерь в стали статора или в роторе, а также электрическими печами-времянками и инфракрасным облучением. При ремонте электрических машин малой и средней мощности применяют сушку в печах с горячим воздухом, вакуумную сушку и сушку инфракрасным облучением.

Время сушки для малых и средних машин составляет 10—20 часов, для больших машин открытого типа 40—60 часов, для больших машин закрытого типа и машин, которые были залиты водой, 70—100 часов. Степень просушки оценивают по измеряемым сопротивлениям. Если в процессе сушки не удается достигнуть достаточно высокого установившегося сопротивления изоляции, то сушку прекращают и дают машине остыть до температуры, несколько выше окружающей и повторно ее нагревают.

Сопротивление изоляции с рабочим напряжением обмоток выше 500 *в* измеряют мегомметром на 1000 *в*, для всех остальных обмоток пользуются мегомметром на 500 *в*. Сопротивление изоляции обмоток при 60° должно быть не ниже 1 *Мома* на 1 *кв* рабочего напряжения, но не ниже 1 *Мома* для статора и 0,5 *Мома* для ротора.

Температуру при сушке повышают постепенно, чтобы предупредить механические напряжения, возникающие при слишком быстром нагреве. Особенно это важно при сушке влажных обмоток, так как резкое повышение температуры может вызвать их вспу-

чивание. Температура горячего воздуха, обтекающего обмотку машины, в первые 2—3 часа должна быть не выше 50—60°, а затем ее повышают не более 5° в час, пока не будет достигнута предельная температура сушки 105—110°, при которой обмотку выдерживают в течение 6—8 часов. Температура сушки непропитанных обмоток с хлопчатобумажной изоляцией должна быть не выше 110°.

Известен наиболее простой и надежный способ пропитки — погружение пропитываемой части машины в бак. Якоря и роторы погружают в бак вертикально—коллектором и кольцами вверх. Лак не должен доходить до петушков коллектора или до колец на 10—20 *мм*. Статор с обмоткой погружают так, чтобы расположение пазов было вертикальным. Старую обмотку предварительно протирают тряпкой, слегка смоченной в бензине. Температура обмоток при погружении в лак не должна превышать 70—80°, иначе разбавитель будет интенсивно испаряться, повысится вязкость лака и вместо пропитки будет иметь место обволакивание поверхности обмотки. Для пропитки обмоток используют битумно-масляные лаки № 447 и 458, требующие продолжительной печной сушки. Они создают эластичную, кислотоупорную, влагостойкую и относительно щелочностойкую пленку. Для получения большей стойкости при нагреве, лучшей цементирующей способности, большей стойкости к тепловому старению лаки № 447 и 458 заменяют водоэмульсионным лаком 321-Т для узлов с марками проводов ПЭВ, ПЭЛБО, ПБД и др. Температура сушки при пропитке обмоток водоэмульсионным лаком должна быть не менее 120°.

Пропиточные лаки должны обладать нормальной вязкостью, определяемой воронкой НИИЛК по ОСТ 10086—39 или вискозиметром. Применяемые лаки, разбавители и требуемая вязкость приведены в таблице 28.

Таблица 28

Лаки и их разбавители

№ лака	Состав разбавителя	Требуемая вязкость		
		по воронке НИИЛК при +20° *сек*	по Энглеру	
			при 20°	при 50°
447 и 458	Толуол, ксилол или 70% бензина I сорта и 30% бензола	4,5—6	6,5—12,0	2,5—3,5
460	40% бензина и 60% бензола или 40% уайт-спирита и 60% толуола или ксилола	4,5—7,0	6,5—14,5	2,5—4,0
320	Бензин I сорта	4,5	4,5—9	2—3
321	То же	4,5—6	6,5—12	2,5—3,5

Перед заливкой лака бак протирают хлопчатобумажной тряпкой, смоченной в разбавителе. Необходимое количество разбави-

теля для приготовления лакового состава определяют из следующего выражения:

$$V_{р} = V_{л}\frac{\gamma_{л} - \gamma_{р}}{\gamma_{р} - \gamma_{с}},$$

где $V_{р}$ — объем добавляемого разбавителя;
$V_{л}$ — объем разбавляемого лака;
$\gamma_{л}$ — удельный вес разбавляемого лака;
$\gamma_{р}$ — удельный вес разбавителя;
$\gamma_{с}$ — необходимый удельный вес состава.

Удельные веса пропиточных лаков и разбавителей указаны в таблице 29.

Таблица 29

Удельные веса лаков и разбавителей

Лаки		Разбавители	
№	удельный вес при 20°	наименование	удельный вес при 20°
458	0,85	Уайт-спирит	0,79
447	0,85	Толуол	0,86
460	0,85	Ксилол	0,86
320	0,83	Бензин I сорта	0,72
321	0,83	Бензол	0,87

При подготовке состава надо, чтобы температуры разбавителя и лака были одинаковыми. Разбавитель заливают в лак небольшими порциями, все время перемешивая состав. В готовом виде состав не должен содержать хлопьев и сгустков.

18. РЕМОНТ КОЛЛЕКТОРА ВОЗБУДИТЕЛЯ

Коллектор электрической машины служит для преобразования переменного тока в постоянный. По конструктивному исполнению коллекторы могут быть арочного типа и с бандажными кольцами. Наиболее часто встречаются следующие неисправности коллекторов: замыкание пластин на корпус и между собой, подгар коллекторных пластин при плохой пайке или выплавлении припоя из петушков и ослаблении прессовки пластин; чрезмерное биение и значительный износ поверхности коллектора; выступание отдельных пластин коллектора и миканитовой изоляции между пластинами; общий перегрев и др. Замыкание пластин коллектора на корпус происходит при пробое или подгаре изоляционных конусов (манжет). При определении таких дефектов применяют мегомметр или установку для испытания изоляции на электрическую прочность. Неисправности устраняют после разборки коллектора заменой или ремонтом дефектных манжет.

Для устранения последствий внутреннего замыкания пластин нужно распаять коллектор, вынуть концы секций из петушков, приподнять их, загнуть на лобовую часть, изолировать лентой и вторично проверить состояние изоляции пластин относительно корпуса. Предварительно надо зафиксировать шаг по коллектору и положение коллекторной пластины относительно паза с той же секцией, а также отметить риской положение коллектора на втулке. После этого можно снять коллектор с вала якоря возбудителя съемником и насадить на ложный вал.

При снятии коллектора с вала губками съемника захватывают только втулку, но не пластины. Если втулка служит также и втулкой пакета якоря, коллектор снимают с вала машины вместе с якорем, не допуская порчи пластины и изоляционных конусов.

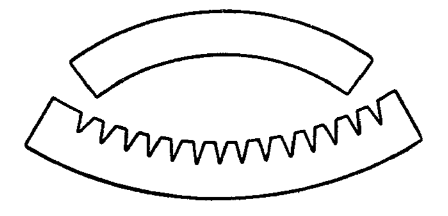


Рис. 53. Заготовка для манжеты из миканита.

После посадки на ложный вал коллектор обжимают проволочным бандажом или хомутом, под который подкладывают по всей ширине пластин электрокартон толщиной 0,5 *мм*, края схватывают скрепками из жести и пропаивают, следя, чтобы припой не попадал на пластины. До начала разборки коллектора на пластине и нажимной шайбе делают риску, отмечающую их взаимное расположение. После этого снимают гайку коллектора, нагревают его в течение двух часов при 115°, чтобы облегчить удаление из расточки коллектора наружный нажимной и изоляционный конусы.

Затем проверяют состояние пластин и определяют место замыкания. При незначительных повреждениях изоляции допускается зачистка стеклянной шкуркой и прокладка кусочков слюды и миканита на шеллаке. Если старый изоляционный конус нельзя отремонтировать, то изготовляют новый.

Изготовление изоляционных конусов. Конуса коллекторов выполняют в специальных пресс-формах по чертежу завода или по форме старого конуса из калиброванного формовочного миканита (ГОСТ 6122—52) толщиной 0,2—0,3 *мм* с содержанием лака 10—30%. Толщина изоляции миканитовых конусов у машин напряжением до 220 *в* должна быть не менее 1,5 *мм*. Для укладки в пресс-форму предварительно делают заготовки (рис. 53).

Для получения необходимой толщины конус набирают из нескольких заготовок и при укладке слоев стыки миканита сдвигают; чтобы опрессованный конус не приклеивался, пресс-форму смазывают парафином. Перед закладкой заготовки вместе с пресс-формой дополнительно прогревают в течение 30—40 *мин*, плотно сжимают между матрицей и пуансоном, следя за тем, чтобы они не выдавливались из пресс-формы. После этого пресс-форму с заготовкой

вторично прогревают в течение 30—40 *мин*, еще раз опрессовывают и обрезают выступающие части. При выполнении этой работы надо следить, чтобы пуансон не перекашивался относительно матрицы. На этом изготовление изоляционного конуса заканчивают. Затем из охлажденной пресс-формы извлекают готовый изоляционный конус и подвергают механической обработке. Применение изоляционных конусов из электрокартона нежелательно.

Сборка коллектора при ремонте. На очищенный нажимной конус надевают новый изоляционный, который должен плотно прилегать к нажимному конусу и соответствовать его размерам. Затем надо осторожно вложить в расточку коллектора нажимной и изоляционный конусы так, чтобы риски на конусе и пластине совпали, завернуть до отказа гайку коллектора, нагреть и опрессовать его с помощью специальной нажимной втулки под давлением 200—300 *кг/см*^{2} и затянуть гайку. Второй раз коллектор прогревают в течение двух-четырех часов, дополнительно подпрессовывают конус и подтягивают нажимную гайку. Сборку коллектора завершают снятием бандажа или хомута и испытанием изоляции коллектора на электрическую прочность.

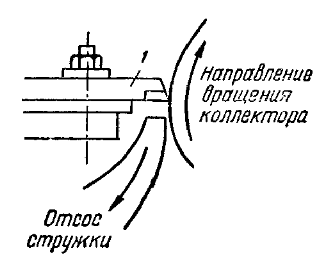


Рис. 54. Проточка коллектора: *1* — резец.

Испытательное напряжение выбирают из расчета 2E + 1000 *в* для мощности до 3 *квт*, 2E + 1000 *в*, но не ниже 1500 *в* для мощности 3 *квт* и более (E — напряжение на коллекторе). После окончания сборки и испытания выпрессовывают ложный вал и насаживают коллектор на вал якоря.

Перед укладкой концов секций в шлицы коллектора или его петушки шлицы предварительно зачищают, а затем укладывают концы секции по шагу коллектора относительно пазов якоря, проверяя правильность закладки концов секций в коллектор игольчатым щупом в комплекте с аккумулятором и прибором. Под концы секций подкладывают хлопчатобумажную ленту. Показания прибора во время измерения должны быть одинаковы.

Заложив провода секций в катушки, обрубают выступающие концы секций из коллектора, подтягивают гайку коллектора и закернивают резьбу. Затем паяют электрическим паяльником при наклонном расположении вала на 5—10° в сторону коллектора, не допуская попадания припоя на его торцовую часть. Рабочую поверхность коллектора протачивают проходным резцом на токарном станке при скорости резания не более 1,0—1,5 *м/сек* и подаче за один оборот не более 0,05—0,1 *мм* (рис. 54). Биение коллектора проверяют часовым индикатором с ценой деления 0,01 *мм*: для коллекторов диаметром до 250 *мм* оно должно быть не более 0,01 *мм* и 300—600 *мм* — 0,015—0,02 *мм*.

Затем проверяют качество пайки и подпаивают в тех местах, где обнаружена чернота на торцовой части петушка коллектора. Наплывы припоя удаляют после пайки вторичной проточкой с минимальной стружкой. Перед шлифовкой коллектор проверяют на отсутствие замыкания между пластинами и электрическую прочность изоляции.

Коллектор, выдержавший контрольные испытания, продороживают и шлифуют стеклянной шкуркой. Продороживание коллектора производят на специальном приспособлении с фрезой или специальным ножом до глубины 0,5—1,5 *мм* с последующим

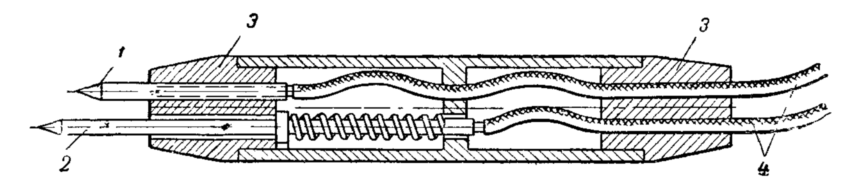


Рис. 55. Игольчатые щупы:

1 — неподвижный контакт; *2* — подвижный контакт; *3* — проходные втулки; *4* — токоведущие провода.

удалением остатков изоляции с коллекторных пластин. Затем проверяют качество пайки, отсутствие обрыва и замыкание пластин, обмотку якоря на витковое замыкание и изоляцию на электрическую прочность.

Следующей операцией накладывают на концы секций около петушков коллектора бандаж из крученого шпагата, витки промазывают шеллаком, проводят статическое балансирование якоря.

После этого коллектор и обмотку еще раз проверяют на витковое замыкание, на обрыв и электрическую прочность.

Коллектор, имеющий общую втулку с якорем, перед ремонтом также насаживают на ложный вал, а после проведения ремонта и испытаний ложный вал выпрессовывают и коллектор вместе с якорем насаживают на вал ротора генератора.

Замыкание между пластинами коллектора. Загрязнение коллектора медно-угольной пылью от трения щеток, пробой изоляции между коллекторными пластинами, потеря изоляционных свойств миканитовых прокладок и механические повреждения коллектора вызывают замыкание пластин. Такие замыкания обычно определяют вольтметром постоянного тока с игольчатыми щупами (рис. 55). Установив ротор или якорь на стойку, поочередно прикасаются щупами к различным пластинам коллектора. Если показания милливольтметра при касании щупами будут равны нулю, то эти пластины замкнуты между собой.

Для устранения неисправности коллектор тщательно очищают (без разборки) от загрязнения между пластинами, особенно вблизи петушков и с торцовых частей, и снова проверяют. Если замыкание

не устранено, нужно распаять коллектор, вынуть концы из петушков и проверить на замыкание между пластинами еще раз.

Разборку коллектора продолжают в следующем порядке. После снятия наружного и нажимного конусов проверяют состояние расточки ласточкина хвоста, зачищают расточку стеклянной шкуркой и удаляют подгары изоляции между пластинами. Если замыкание не исчезает, подогревают коллектор и снимают его со втулки. Пакет снимают так, чтобы нажимной и изоляционный конуса со стороны пакета якоря остались на месте, а пакет пластин не перекашивался. Пластины проверяют на замыкание, устанавливают пакет пластин коллектора на поверочную плиту и выправляют. Перпендикулярность пластин проверяют угольником.

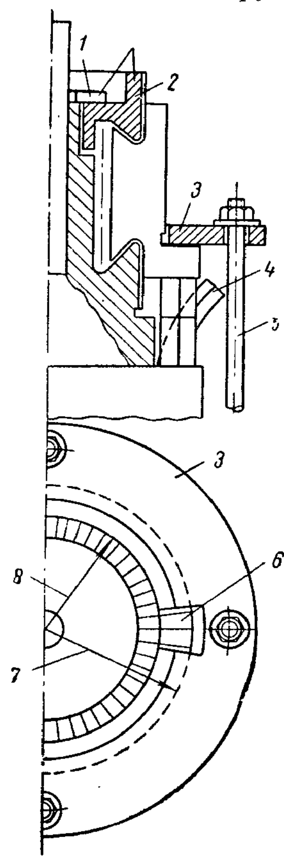


Рис. 56. Приспособление для замены неисправных пластин коллектора:

1 — гайка; 2 — передняя шайба; 3 — диск; 4 — отпаянные проводники; 5 — стяжная шпилька; 6 — вырез для удаления пластин; 7 — диаметр петушков; 8 — диаметр коллектора.

После правки пластины должны быть перпендикулярны плите, бандаж, хомуты и другие приспособления закреплены. Если замыкание еще имеет место, тогда пакет коллекторных пластин подогревают в сушильной камере с калорифером Б-3 или электрическим паяльником до 115° и легкими ударами через медную пластину по одной из замкнутых пластин сдвигают ее вдоль оси. Место замыкания можно определить по состоянию изоляционной прокладки, не вынимая пластину коллектора.

Если удалось обнаружить место замыкания, то пластину выбивают из пакета, отделяют от нее ножом поврежденную изоляцию и ставят новую; после чего вставляют вынутую пластину на место.

При отделении изоляционной прокладки от пластины пакет должен быть нагретым. Новую изоляцию вырезают по форме старой или по заводскому чертежу.

При вдвигании пластины с противоположной стороны между пластинами вставляют клин или отвертку. Для выравнивания пакет пластин снова ставят на поверочную плиту, выправляют, устанавливают по ранее сделанным рискам на нажимной и изоляционный конуса, находящиеся со стороны якоря, вставляют наружные конуса в расточку и завертывают гайку.

В том случае, когда применяют специальное приспособление для замены коллекторных пластин, коллектор стягивают специальным хомутом с диском, вырез которого устанавливают против выталкиваемой пластины (рис. 56). Затем ослабляют хомут и осторожно выбивают пластину сначала вверх, а затем вдоль коллектора. Установку пластины после замены изоляции производят легкими ударами молотка через медную прокладку. Вставленную пластину осаживают до уровня остальных пластин пакета, после чего проверяют на отсутствие замыкания.

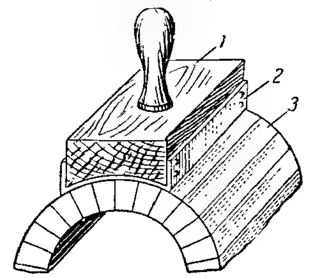


Рис. 57. Шлифование коллектора с помощью колодки:

1 — колодка; 2 — шкурка; 3 — коллектор.

Подгар коллекторных пластин. Коллекторные пластины подгорают при плохой пайке или выплавлении припоя из петушков, что обнаруживается вольтметром с применением источника постоянного тока и игольчатых щупов. При плохой пайке отклонения стрелки вольтметра будут максимальными. Неисправность устраняют проточкой коллектора; цилиндрическую же часть петушков не протачивают, а очищают от угольной пыли. Замеры производят микрометром и индикатором часового типа с применением универсальной стойки. После очистки петушки коллектора, в которых обна-

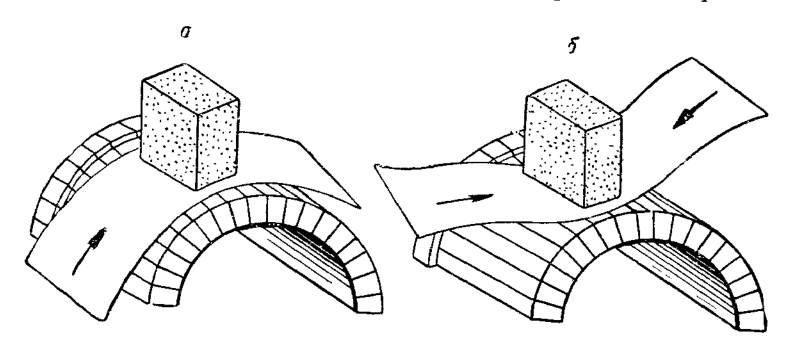


Рис. 58. Шлифование коллектора с помощью стеклянной шкурки:

а — правильно; *б* — неправильно.

ружена хотя бы незначительная чернота, нужно осмотреть и пропаять. Наплывы припоя удаляют проточкой с минимальной стружкой; затем продороживают, удаляют заусенцы и шлифуют коллектор стеклянной шкуркой (рис. 57 и 58).

Отсутствие замыкания пластин проверяют прибором, включенным между любой парой смежных пластин, показания которого должны быть одинаковыми, а при замыкании пластин — равны нулю.

Ослабление прессовки пластин коллектора также вызывает подгар их. Обнаруживают этот дефект легким постукиванием по

коллектору через медную пластинку и осмотром. Ослабление характеризуется сдвигом пластин между собой. Для удержания сдвига пластин надо подтянуть специальным ключом гайку коллектора до отказа; звук от удара молотка по коллектору (через пластину) должен быть звонким.

Затем коллектор подогревают до 130°, вторично подтягивают гайку, протачивают, вновь проверяют прессовку пластин, продороживают, снимают заусенцы и зачищают поверхность стеклянной шкуркой.

Отсутствие виткового замыкания и замыкания пластин свидетельствует об исправном состоянии коллектора.

Биение коллектора возникает при неровностях поверхности, зависящей от его выработки, а также от овальности диаметра коллектора, которая получается вследствие эксцентричного расположения осей вала и коллектора; кроме того, биение может быть от «игры» отдельных пластин при чрезмерном износе коллектора.

Если неровности не превосходят 0,2 *мм*, коллектор должен быть отполирован; при неровностях от 0,2 до 0,5 *мм* — прошлифован и более 0,5 *мм* — проточен.

При оборотах менее 1000 в минуту допускается биение до 0,1 *мм*. Выступание изоляции над поверхностью коллектора не допускается. Для устранения биения коллектор протачивают. Величину биения проверяют индикатором часового типа с ценой деления 0,01 *мм*. Цилиндрическую и торцовую части петушков коллектора не протачивают. Затем коллектор продороживают, удаляют заусенцы и зачищают шкуркой, после чего проверяют на отсутствие замыкания между пластинами, виткового замыкания и замеряют сопротивление изоляции мегомметром; оно не должно быть менее 0,5 *Мегом*. «Игра» или биение отдельных пластин возникает из-за предельного износа коллектора по диаметру. Допустимый износ коллекторных пластин ограничивается механической прочностью пластин, а также возможностью опустить щетки на поверхность коллектора и сохранить необходимое нажатие пружины. Расстояние от обоймы щеткодержателя до поверхности коллектора должно быть в пределах 2—4 *мм*.

На основании исследований, проведенных ГОСНИТИ (С. А. Пискунов), износ коллекторных пластин не должен превышать следующих значений (в зависимости от высоты пластины H):

при	$H = 16$	до	19	*мм*	— 5— 7	*мм*
»	$H = 20$	»	29	»	— 7—10	»
»	$H = 30$	»	39	»	— 10—12	»
»	$H = 40$	»	49	»	— 12—14	»
»	$H = 50$	»	80	»	— 14—20	»

Высоту пластины H (рис. 59) измеряют от основания пластины до поверхности. Пластины с меньшей высотой заменяют. При замене значительного числа коллекторных пластин нужно проточить риску на торце медного слоя, указывающую предельный допустимый износ. Во время разборки коллектора для избежания по-

ломки петушков в прорези нужно осторожно выбивать ковцы обмотки из петушков, в случае их поломки — заменять новыми.

Общий перегрев коллектора возникает от несоответствия марки щеток для данной машины, чрезмерное нажатие щеток также вызывает перегрев.

Изготовление новых коллекторных пластин и сборка коллектора. Для изготовления новых коллекторных пластин применяют медь соответствующего профиля по ГОСТ 3568—47. Коллекторные пластины можно делать из двух медных шин, соединенных заклепками впотай. При отсутствии коллекторной меди необходимого профиля пластинам придают требуемую конусность строжкой или фрезеровкой сторон. Прорези (шлицы) в коллекторных пластинах подготавливают до сборки коллектора (рис. 60).

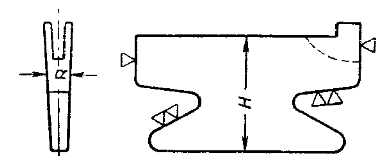


Рис. 59. Эскиз коллекторной пластины:

α — угол конуса коллекторной пластины; H — высота.

Для изготовления коллекторных пластин меньших размеров можно использовать пластины от выбракованных коллекторов.

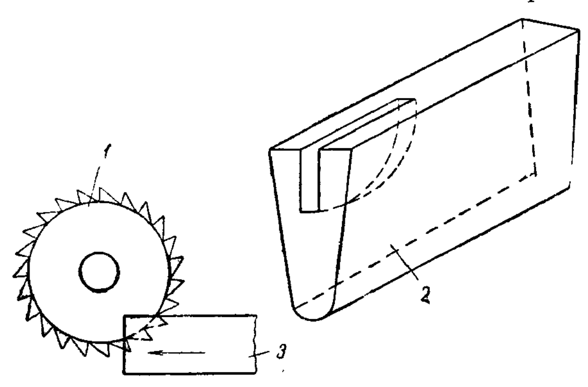


Рис. 60. Коллекторная пластина с выбранным шлицем:

1 — дисковая фреза; 2 — ламель с прорезным шлицем; 3 — ламель.

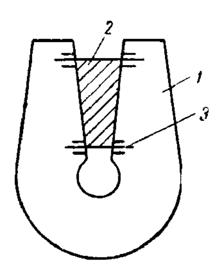


Рис. 61. Шаблон для проверки профиля коллекторных пластин:

1 — шаблон; 2 — пластина; 3 — риски допусков.

Размеры каждой полосы коллекторной меди следует проверять специальным шаблоном (рис. 61) или угломером и микрометром. Допускаемые отклонения размеров пластин приведены в таблице 30.

Допуски по длине заготовки для новой коллекторной пластины $^{+0,1}_{-0,0}$ *мм.*

Торцы заготовок для коллекторных пластин должны быть обработаны под ▽. На рисунке 62 показаны случаи неправильного изготовления пластин. Образцы заготовок профильной меди

(рис. 62, *а* и *б*) применяют для изготовления коллекторов, когда эти заготовки находятся в пределах допусков (табл. 30). Некоторые из профилей (рис. 62, *в* и *г*) можно исправить фрезерованием. Влияние неровностей толщины пластин на сборку коллектора можно видеть на рисунке 63.

Таблица 30

Допускаемые отклонения размеров пластин (в *мм*)

Толщина	Допускаемое отклонение	Высота	Допускаемое отклонение
До 3	— 0.05	До 18	— 0,2
До 3 6	— 0.06	18 -30	— 0,3
6 10	— 0.08	30 - 50	— 0,6
10 - 19	— 0,10	50 - 80	— 0,8

Искривленные пластины рихтуют медным воротком или молотком на плите (рис. 64), установленной на резиновой прокладке, или стальным молотком через медную прокладку. Выпрямленные

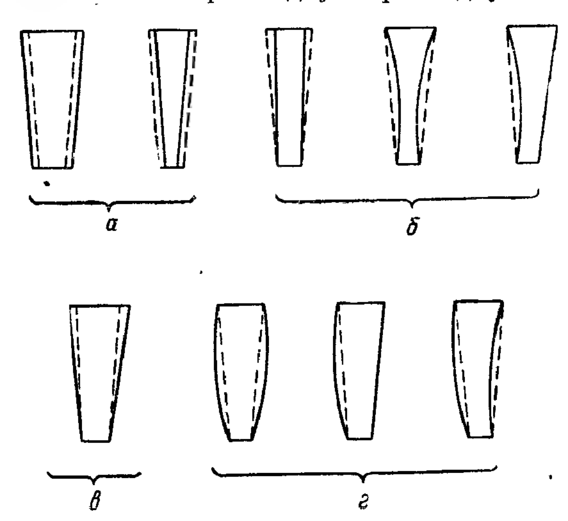


Рис. 62. Искажение профиля коллекторной меди:

а — влияет на срок службы; *б* — влияет на качество прессовки; *в* — не допускает правильной прессовки; *г* — выдавливает слюду при нагреве.

пластины не должны иметь забоин или вмятин от ударов молотка, а также качки на поверочной плите. Затем их очищают от заусенцев, протирают тряпкой, смоченной в бензине, и фрезеруют прорези для впайки проводов обмотки или петушков, придерживаясь следующих допусков на размеры шлица: по толщине пластины

+0,05 и —0,0 и по длине и высоте +0,2 и —0,1 *мм*. Шлицы фрезеруют дисковой фрезой с круглым зубом при 300—400 *об/мин* и охлаждают эмульсией. Пластины коллекторов с глубокой прорезью лучше фрезеровать отдельно.

После фрезеровки производится полуда прорезей. Всю пластину, кроме стенок прорези, обмазывают известью, а стенки прорези промазывают раствором канифоли в спирте. Затем пластину погружают в ванну с расплавленным составом: 85% олова и 15% свинца (температура плавления 205°). После полуды пластину очищают от извести и пятен олова, особенно на петушках.

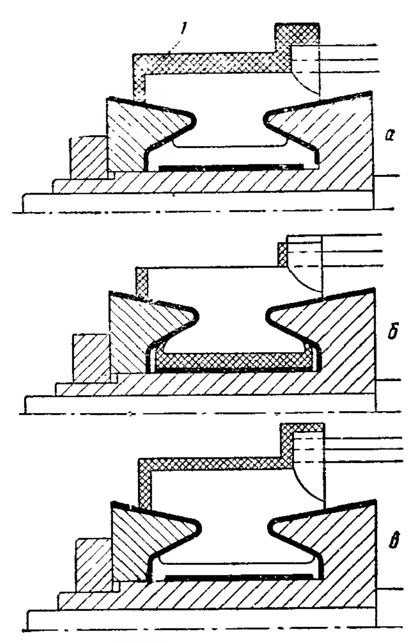


Рис. 63. Влияние неровностей толщины пластин на сборку коллектора:

а — толстая медь; *б* — тонкая медь; *в* — нормальная медь; *1* — обработка.

Изготовление петушков. Размеры петушков не должны превышать следующих предельных допусков: по ширине окна — А: +0,1 и —0,0 *мм*; по длине окна — Б: +0,2 и —0,0 *мм*.

Чтобы получить нужную форму петушка при изготовлении его из заготовки, надо пользоваться специальной подкладкой и оправкой (рис. 65).

Петушки облуживают припоем ПОС-40 при температуре 250—260°. Для флюса применяют раствор канифоли и спирта.

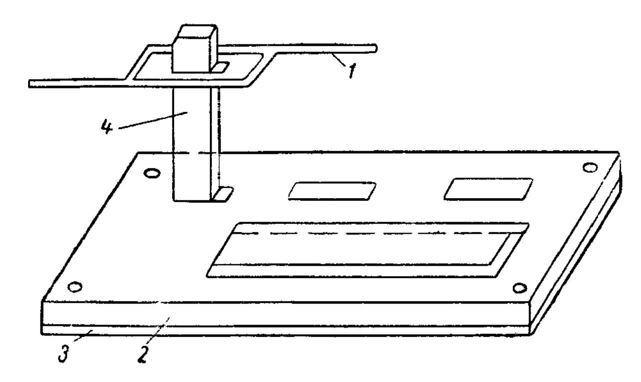


Рис. 64. Рихтовочная плита:

1 — вороток; *2* — плита, прикрепленная к слесарному верстаку; *3* — резина; *4* — ламель.

Петушки соединяют с коллекторными пластинами пайкой или медными заклепками впотай.

В запаянных петушках коллектора не должно быть чернот, даже точечных. Пайку производят погружением петушка и части пластины со шлицем в ванночку с припоем ПОС-60, разогретым до температуры 320—340°. После пайки очищают напильником наплывы припоя с торца, боковых поверхностей и ребер коллекторных пластин. Сборку коллекторной пластины с петушком выполняют с помощью приспособления (рис. 66); если толщина коллекторной пластины вверху не превышает 4 *мм*, их собирают с петушком до общей сборки коллектора.

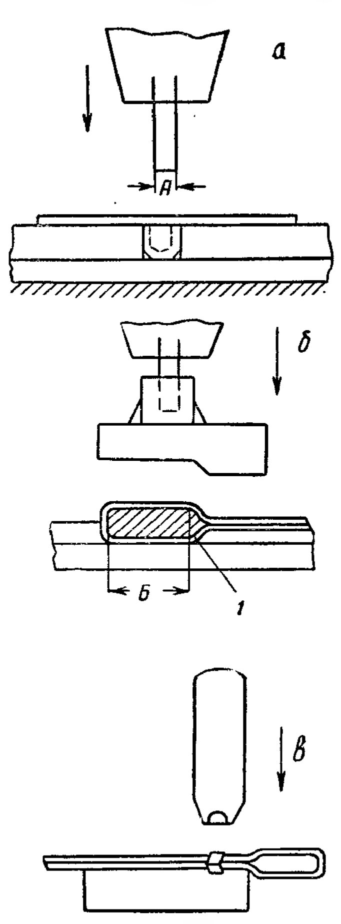


Рис. 65. Изготовление петушков:

а — 1-я операция; *б* — 2-я операция; *в* — 3-я операция; *1* — оправка.

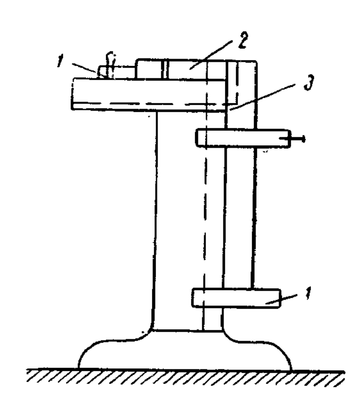


Рис. 66. Приспособление для вставки петушков в шлицы коллекторных пластин:

1 — подвижный упор; *2* — петушок; *3* — ламель.

Сборка коллектора из новых пластин. Сборку комплекта пластин в цилиндрическую форму выполняют на плите или специальном диске (рис. 67) с применением прессовочных колец (рис. 68). Между пластинами ставят изоляционные прокладки из миканита марки КФ по ГОСТ 2196—54, нарезанные по размеру пластин; толщина прокладок от 0,6 до 2,0 *мм* с отклонениями не более 0,01—0,03 *мм*.

Размеры изоляции между коллекторными пластинами определяют по размерам пластины с припуском 5 *мм* по длине и 1—1,5 *мм* по ширине.

В собранном комплекте изоляционные пластины должны выступать в торцовой части со стороны петушков не более 2—4 *мм*.

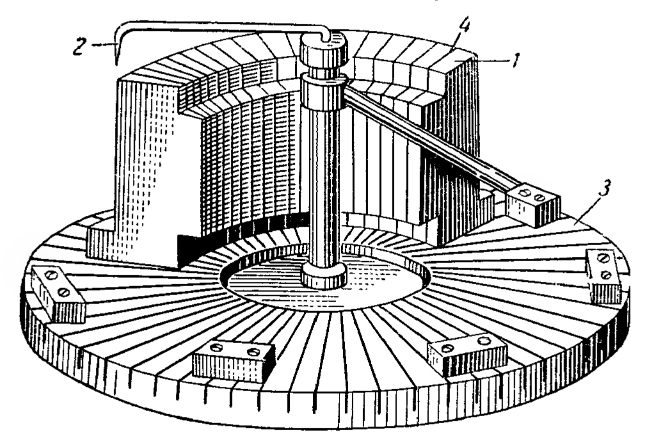


Рис. 67. Сборка пластин коллектора на диске:

1 — пластины медные; 2 — рейсмус; 3 — сборный диск; 4 — миканитовые пластины.

Перекос вдоль оси и отклонение по радиусу на внешней поверхности цилиндра меди коллектора после сборки не должны превышать величин, приведенных в таблице 31.

Таблица 31

Величина перекоса пластин (в *мм*)

Толщина пластины коллектора	Наибольшее отклонение по радиусу	Наибольшая величина перекоса	
		при длине пластин менее 125 *мм*	при длине пластин 125 *мм* и более
До 8	0.5	0,5	1,0
Свыше 8	0,75	1,0	1,5

Комплект пластин прессуют равномерным подтягиванием болтов, расположенных по окружности колец; в случае применения колец конструкции *а* или *б* (рис. 68) плашки нажимают на среднюю часть пластины или под прессом.

Прессовка производится так, чтобы комплект принял правильную цилиндрическую форму.

Запечка и опрессовка изоляции между коллекторными пластинами (формовка коллектора) производится в такой последовательности:

а) цилиндр меди выдерживают в течение двух-трех часов при температуре 130° и опрессовывают в горячем состоянии;

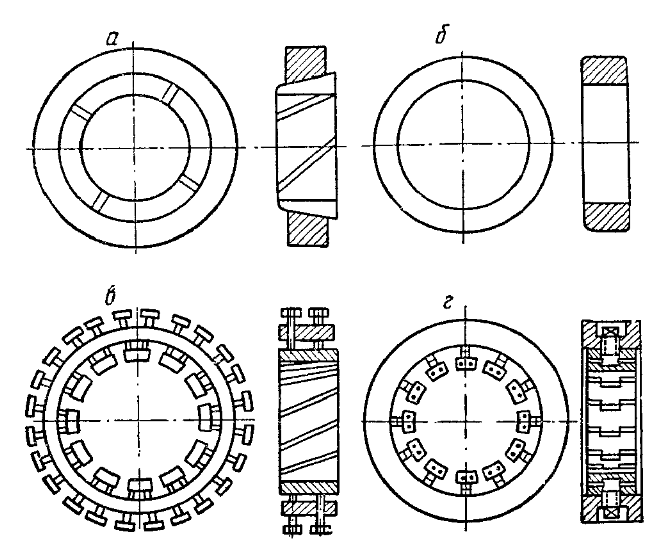


Рис. 68. Кольца для прессовки комплекта пластин коллектора:
а, б — для прессовки под прессом; *в, г* — для прессовки болтами.

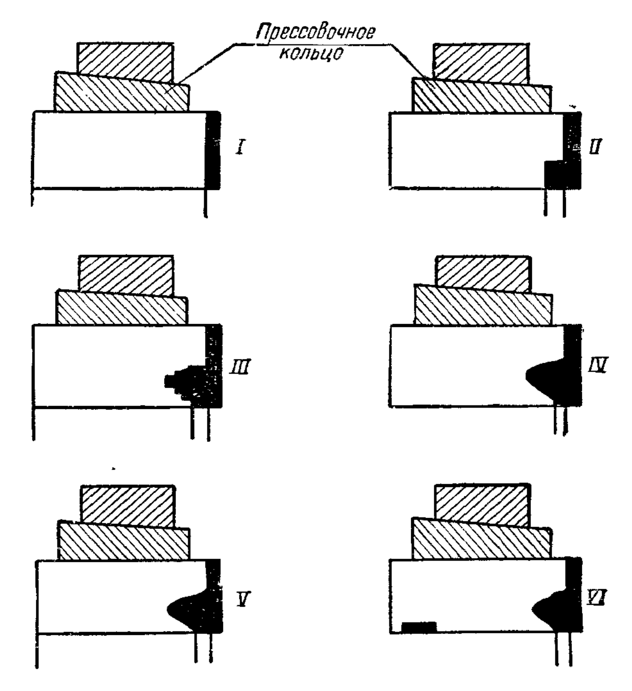


Рис. 69. Последовательность обработки ласточкиных хвостов в пластинах коллектора.

б) опрессованный цилиндр меди коллектора в сборочных приспособлениях вновь нагревают до 160° и выдерживают при этой температуре в течение двух-четырех часов, а затем вторично опрессовывают в горячем состоянии;

в) после охлаждения до температуры не ниже 60—70° коллектор опрессовывают в третий раз.

Запрессованный комплект ставят на токарный станок и обрабатывают по шаблону поверхность ласточкиных хвостов (рис. 69 и 70) в такой последовательности: I — обработка комплекта со стороны петушков; II — до начала ласточкина хвоста; III — грубая проточка ласточкина хвоста; IV — чистовая обточка конусных поверхностей (30° и 3°) на большой скорости — 50 *м/мин* и самой малой подаче; V — углубление ласточкина хвоста; VI — контрольная заточка, необходимая для центровки комплекта пластин после перевертывания.

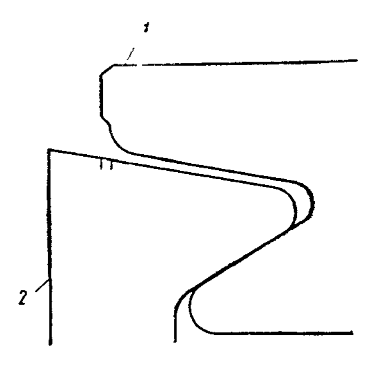


Рис. 70. Шаблон для измерения выточки в пластинах:
1 — пластина; 2 — шаблон.

Затем комплект перевертывают, центрируют и повторяют операции на обратной торцовой части его, оставляя небольшой припуск для окончательной обработки коллектора после посадки его на вал якоря. Закончив механическую обработку, приступают к сборке комплекта на втулке. Внутреннюю поверхность втулки коллектора окрашивают эмалью. При сборке необходимо соблюдать чистоту деталей, верстака, рук а также спецодежды рабочего.

При сборке на втулку коллектора надевают изоляционный конус, кладут комплект пластин, вставляют изоляционный цилиндр, накладывают нажимную шайбу с изоляционным конусом и завертывают гайку, следя за правильным расположением шпоночной канавки.

Нарезные отверстия для винтов в нажимном кольце комплекта пластин уплотняют завинченными в них пробками. Под гайки и головки стяжных болтов комплекта ставят медные шайбы или подкладки, а также стопорные шайбы.

При окончательной сборке и насадке комплекта пластин на ступицу затяжка его нажимными конусами должна производиться в нагретом состоянии. Собранный коллектор с прессовочным кольцом нагревают до 160° и прессуют с давлением, зависящим от размеров коллектора, указанных в таблице 32.

Подтяжка гайки коллектора производится под прессом с помощью специального ключа (рис. 71). После этого с коллектора снимают прессовочное кольцо, проверяют отсутствие замыкания контрольной электрической лампой или вольтметром.

Таблица 32

Величина давления прессовки коллектора

Диаметр коллектора (в *мм*)	150	200	300	400
Давление прессовки (в *т*) . .	2—4	6—8	12—16	20—30

При исправном состоянии коллектора его вторично нагревают до 160°, прессуют, подтягивают гайки и балансируют. Затем вновь нагревают до 160° и производят разгон коллектора в течение 15—30 минут на специальном станке или приспособлении при числе

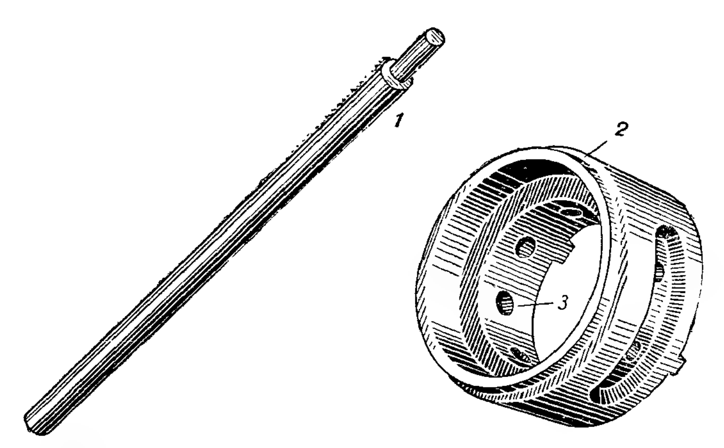


Рис. 71. Ключ для завертывания гайки коллектора:
1 — вороток; *2* — нажимная втулка; *3* — корончатая втулка.

оборотов сверх номинального в 1,2—2,5 раза, что обеспечивает уплотнение изоляционных конусов коллектора. Затем подтягивают гайку и производят грубую обработку наружной поверхности. Качество всей сборки коллектора определяют вдавливанием пластин легкими ударами молотка через медную, фибровую или деревянную подкладку по нерабочей части коллектора; подкладка должна иметь ширину не более толщины коллекторной пластины.

Поверхность коллектора должна быть гладко отшлифована. При обточке коллектора риски, забоины и заусенцы не должны иметь места. Шлифовка наждачной бумагой не допускается. В собранном коллекторе поверхность изоляции на выступающей части нажимного кольца должна быть закреплена веревочным бандажом с пропиткой лаком.

После окончательной сборки коллектор проверяют на отсутствие замыкания между пластинами и между пластинами и корпусом.

Для определения испытательного напряжения можно пользоваться таблицами 33 и 34.

Таблица 33

Испытательное напряжение для изоляции коллектора от корпуса (в *в*)

Рабочее напряжение	Испытательное напряжение в течение 1 *мин*	
	новый коллектор	бывший в эксплуатации
150	3 000	1500
600	5 500	2730
1500	7 000	3500
3000	11 000	5500

Таблица 34

Испытательное напряжение для изоляции между пластинами коллектора

Толщина изоляции между пластинами (в *мм*)	0,4	0,6	0,8	1,0
Испытательное напряжение (в *в*) . .	200	300	400	500

19. РЕМОНТ ЩЕТОЧНОГО МЕХАНИЗМА ВОЗБУДИТЕЛЯ И РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Основными неисправностями щеточного механизма являются: обгорание или механическое повреждение обоймы, порча пружины, плохая пайка и прослабление контактов, перекос пальца, трещины в траверзе, износ и выкрашивание щеток.

Изношенные щеткодержатели должны быть отремонтированы или заменены.

Ремонт обоймы, если она обгорела или имеет механические повреждения, а также заусенцы и наплывы, состоит в наварке бронзой или латунью изношенных или поврежденных мест и удалении заусенцев и наплывов. При изготовлении новой обоймы берут кусок латуни или бронзы, обрабатывают его для получения внешних размеров обоймы, а затем на долбежном станке или сверлением и опиловкой делают в заготовке прямоугольное отверстие под размеры щетки. Отклонение размеров щетки от номинального и допуски, а также величина слабины ее в обойме приведены в таблице 35.

Обойма щеткодержателя должна находиться от поверхности коллектора или контактных колец на расстоянии не менее 2—4 *мм*.

Размеры обоймы подбирают по имеющимся электрощеткам или по существующим стандартам (табл. 36 и 37 и рис. 72).

Конструкция щеткодержателя должна соответствовать изготовляемым заводами формам исполнения для данного типа генераторов; допускается уменьшение их числа при соблюдении условия, чтобы нагрузка на каждую щетку не превышала 10—20 $а/мм^2$ в зависимости от марки щетки.

Таблица 35

Отклонения и допуски щеток

Направление	Отклонения и допуски щетки (в *мм*)			Слабина щетки в обойме (в *мм*)	
	верхнее	нижнее	допуск	наибольшая — O_3	наименьшая — O_4
Осевое	— 0.20	— 0,35	0,15	0,50	0,20
В направлении вращения при ширине щетки:					
до 16 *мм*	— 0,06	— 0.18	0.12	0,30	0,06
свыше 16 *мм*	— 0,07	— 0,21	0,14	0,35	0,07

Пружину, изготовленную из стальной проволоки марки ОВС или рояльной, навивают на стальной стержень с отверстием в одном из концов, в которое закрепляют проволоку; стержень за-

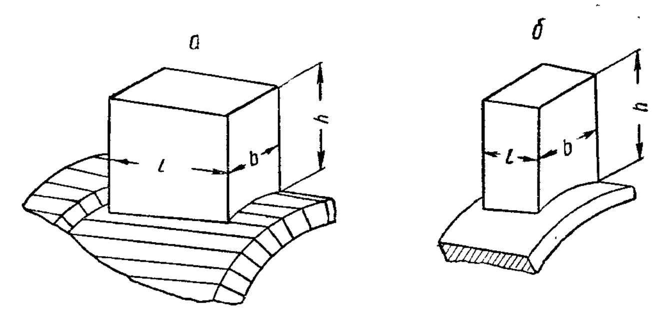


Рис. 72. Номинальные размеры щеток:
а — для коллектора; *б* — для контактного кольца.

жимают в патроне токарного станка. Пружина должна обеспечивать постоянное и равномерное давление на щетку, равное 120—200 *г* на 1 $см^2$ шлифуемой поверхности.

Плохую пайку и прослабление контактов проверяют осмотром и контрольной лампой, для чего заменяют шунт, подтягивают контакты в цепи тока и проверяют изолирующую головку пружины.

Пробои, прожоги, выкрашивание устраняют заменой изоляционных трубок пальцев траверзы и шайб.

Заменяющие трубки изготовляют из тех же изолирующих материалов (бакелит или миканит), что и старые.

Номинальные размеры щеток

Ширина щетки по направлению вращения коллектора (в *мм*)	Длина щетки (*l*) по направлению оси коллектора (в *мм*)	Сечение ($b \times l$) (в *мм*²)	h (в мм)									
			12	15	20	25	32	35	40	50	60	70
6,5	6,5	42.25	—	15	20	—	—	—	—	—	—	—
	8	52	12	15	20	25	—	35	—	—	—	—
	10	65	—	—	20	25	—	—	—	—	—	—
	12,5	81,25	—	—	20	25	—	—	—	—	—	—
	15	97,5	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
8	8	64	—		20	—	32	—	—	—	—	—
	10	80	—	15	20	25	—	35	—	—	—	—
	12,5	100	—	—	20	25	32	—	—	50	—	—
	15	120	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
	16	128	—	—	—	25	32	35	—	—	—	—
	20	160	—	—	20	25	—	35	40	—	—	—
	25	200	—	—	20	25	—	35	—	50	—	—
10	10	100	—	15	20	25	—	35	40	—	—	—
	12,5	125	—	—	20	25	32	—	40	—	—	—
	16	160	—	15	20	25	32	—	—	50	—	—
	18	180	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
	20	200	—	—	20	25	32	35	40	50	—	—
	25	250	—	—	—	25	32	35	—	50	—	—
	32	320	—	—	—	25	32	—	—	50	—	—
	40	400	—	—	—	—		—	—	50	—	—
	60	600	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
12	32	384	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—
12,5	12,5	156,25	—	—	—	—	32	—	—	—	—	—
	16	200	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—
	20	250	—	—	—	25	32	35	40	—	—	—
	25	312,5	—	—	—	—	—	35	40	50	—	—
	30	375	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
	32	400	—	—	—	25	32	—	40	50	60	—
	40	500	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
	50	625	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
16	16	256	—	—	20	—	32	—	—	50	—	—
	20	320	—	—	—	25		—	—	50	—	—
	25	400	—	—	—	25	32	35	40	50	—	—
	30	480	—	—	—	—	—	35	—	—	—	—
	32	512	—	—	—	25	32	—	40	50	60	70
	40	640	—	—	—	—	—	—	40	50	60	—
	50	800	—	—	—	—	—	—	—	50	60	70
	60	960	—	—	—	—	—	—	—	50	60	70
20	20	400	—	—	—	—	32	—	—	50	—	—
	25	500	—	—	—	—	32	—	40	—	60	—
	30	600	—	—	—	—		35	—	—	—	—
	32	640	—	—	—	—	32		—	50	60	70
	40	1000	—	—		—			—	50	60	—
	60	1200	—			—			—	50	—	70

Марки щеток для

Название машины и особенности ее работы	Характеристики щеток		
	Падение напряжения (в *в*)	Удельное сопротивление *ом* (в *мм²/м*)	Твердость по Шору
Промышленные двигатели и генераторы	1,5+3,0	20 60	18 –50
Машины с переменной и толчкообразной нагрузкой	2,0- 3,0	12 40	12—60
Быстроходные машины, турбогенераторы постоянного тока, возбудители	1,3 2,5	10—40	10– 40
Коллекторные машины переменного тока	1,7—2,9	20 70	30 –60
Тяговые двигатели	2,0—3,0	20—70	30 –70
Низковольтные генераторы (до 20 *в*) .	0,5—1,5	0,1 18	6—30
Автомобильные машины	0,5 –1,5	18 75	20 · 30
Машины мощностью от 1 до 20 *квт* .	1,95—2,75	18 –75	40—80
Контактные кольца	0,6—1,5	0,1 15	5 25

Таблица 37

различных машин

по ГОСТ [illegible]

Коэффициент трения	Рекомендуемое напряжение (в $г/см^2$)	Марка щеток	Сорт щеток	Допустимая окружная скорость (в $м/сек$)	Плотность тока (в $а/см^2$)
0,12—0,25	150—200	Т6 ЭГ4 ЭГ8	Угольно-графитовые Электро-графитовые » »	10	6
0,15—0,3	200—250	ЭГ2 ЭГ4 ЭГ10	» » » » » »	15 40 —	8 12 9
0,1—0.2	150—200	ЭГ4 ЭГ8 ЭГ83	» » » » » »	40 45 45	12 9 9
0,12—0.3	200	Т2 Т6 ЭГ2 ЭГ14	Угольно-графитовые » » Электро-графитовые » »	10 10 25 40	6 6 10 10
0,12—0,8	200—300	Т6 ЭГМ	Угольно-графитовые Электро-графитовые	10 40	6 10
0,04—0,15	150	ЭГ4 МГ М16 М24	Электро-графитовые Медно-графитовые » » » »	40 20 25 15	12 20 14 20
0,6—0.17	200	МГ МГ6	» » » »	20 20	20 18
0,16—0,4	150	Г3 ЭГ2 ЭГ4	Графитовые Электро-графитовые » »	25 25 40	10 10 12
0,05—0,2	150	Г3 ЭГ4 ЭГ83 МГ все марки	Графитовые Электро-графитовые » » Медно-графитовые	25 40 45 20	10 12 9 20

Неисправные пальцы, на которых укреплены щеткодержатели, заменяют новыми стальными. Пальцы и щеткодержатели крепят в траверзе неподвижно, палец должен стоять в головке траверзы параллельно пластинам коллектора. Для изоляции пальцев от траверзы применяют формовочный миканит. Трещины заваривают при разогретой до температуры 700—800° чугунной траверзе. После заварки горячую траверзу помещают в печь для медленного остывания в течение 10—12 часов.

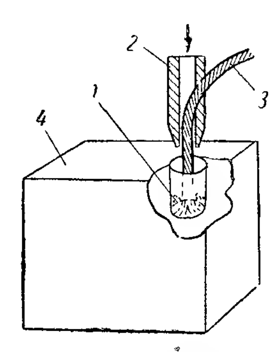


Рис. 73. Крепление токоведущего провода в щетке:

1 — бронзовый порошок; 2 — игла; 3 — медный канатик; 4 — угольная щетка.

Изношенные щетки заменяют новыми. Щетки выпиливают из графитовых и угольных брусков, точность размеров их достигается при помощи напильника и тонкой стеклянной бумаги; фаски на ребрах по высоте должны быть сняты. В машинах постоянного тока ширину щетки выбирают такой, чтобы она перекрывала от полутора до трех коллекторных пластин. Рабочая поверхность щеток должна быть полностью без зазоров пришлифована к плоскости прилегания коллектора или контактных колец.

Пришлифовка щеток производится после установки щеткодержателей на место стеклянной бумагой, которую протягивают только в направлении вращения коллектора или контактных колец.

В щетках, изготовленных из угольных или графитовых брусков (рис. 73), токоведущий поводок не припаивают, а конопатят, для чего в высверленное отверстие щетки с помощью специальной иглы вставляют конец медного канатика с диаметром отдельных проволок не более 0,2 *мм*. Затем в отверстие угольной щетки насыпают медный или бронзовый порошок, который зачеканивают легкими ударами молотка по торцу иглы.

Усилие вырывания токоведущего провода из щеток должно быть не менее 12 *кг*.

20. РЕМОНТ СЕЛЕНОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Выпрямляющее действие полупроводниковых выпрямителей основано на том, что сопротивление их различно в зависимости от направления (полярности) приложенного напряжения.

Полупроводниковый выпрямитель (рис. 74) состоит из металла *1* и полупроводника *2*, разделенных тонким (около 10^{-5} *мм*) запирающим слоем *3*. Металлический слой *4* служит для образования контакта с полупроводником; применяются меднозакисные селеновые и сульфидные выпрямители.

Для возбуждения электромашинных возбудителей применяют селеновые выпрямители. Они имеют больший статический коэф-

фициент выпрямления и больший к. п. д., чем меднозакисные, но работают менее стабильно, так как формовка запирающего слоя продолжается и при работе выпрямителя.

Величину коэффициента статического выпрямления $K_{ст}$ определяют по формуле:

$$K_{ст} = \frac{r_{обр}}{r_{пр}},$$

где $r_{обр}$ — сопротивление выпрямителя при обратном напряжении (в направлении плохой проводимости выпрямителя);

$r_{пр}$ — сопротивление при прямом напряжении (в направлении хорошей проводимости).

Зависимость тока от приложенного к выпрямителю напряжения приведена на рисунке 75.

Величина обратного напряжения, при котором запирающий слой пробивается, составляет в меднозакисном выпрямителе около 5 *в*, а в селеновом 20—30 *в*. Для работы при более высоких напряжениях выпрямители соединяют последовательно в батареи.

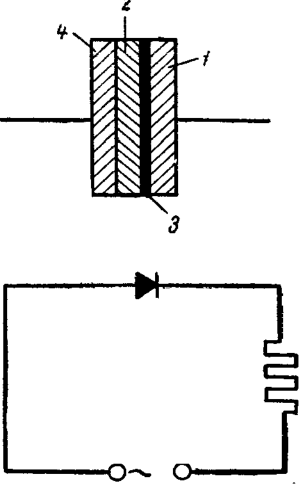


Рис. 74. Схема устройства и включения полупроводникового выпрямителя:

1 — металл; 2 — полупроводник; 3 — запирающий слой; 4 — металлический слой.

Входные напряжения на вентильный селеновый комплект (в относительных значениях) в зависимости от температуры окружающей среды указаны в таблице 38.

Таблица 38

Входные напряжения на вентильный селеновый комплект

Температура окружающей среды (в градусах)	35	45	55	65
Входное напряжение (в % от номинального)	100	95	90	80

Наибольшая рабочая температура для селеновых вентилей составляет 70—75°; старение их при этой температуре не превышает 10%.

Длительно допускаемое напряжение селеновых выпрямителей не превышает 20—25 *в*, в то время как пробивное напряжение равно 50—80 *в*.

Допустимая перегрузка вентилей при дутьевом охлаждении допускается в 1,5—2 раза, при масляном — в 2—3 раза. Увеличение

тока более чем в 3 раза приводит к значительному снижению к. п. д.

Наиболее часто встречающимися неисправностями селеновых выпрямителей являются расформовка селеновых элементов и пробой проводящих шайб.

Для определения дефекта расформовки селеновых элементов нужно осмотреть селеновые столбики и замерить вольтметром напряжение отдельных элементов. Разность в показании напряжения, а также общее пониженное напряжение позволит выявить эту неисправность. Для устранения неисправности следует подформовать селеновые элементы, а перед формовкой протереть концами все элементы выпрямителя, подключить столбики к цепи переменного тока сначала вхолостую, потом постепенно повышать напряжение от 0 до 64 *в*. Напряжение повышается четырьмя ступенями с выдержкой на каждой ступени по 5—10 минут.

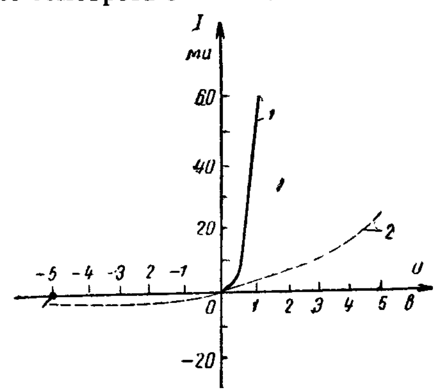


Рис. 75. Вольтамперные характеристики полупроводниковых выпрямителей:

1 — селеновый; 2 — меднозакисный; *U* — напряжение.

Пробой проводящих шайб происходит от чрезмерной нагрузки, повышенного напряжения и температуры, а также от механических воздействий на селеновые столбики. Неисправность можно определить на ощупь по чрезмерному местному нагреву. Для устранения неисправности следует отъединить и снять с установки селеновые выпрямители, разобрать селеновый столбик и изъять неисправные шайбы.

Вместо неисправных шайб подобрать новые и собрать селеновый выпрямитель.

Новые шайбы должны соответствовать по диаметру размерам старых.

Собранный столбик формуют. Перед формовкой протирают все элементы чистой ветошью или концами. Формовку производят также четырьмя ступенями. Собранный и отформованный селеновый выпрямитель устанавливают на место по электрической схеме, составленной при разборке.

21. ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОРОБКИ ВЫВОДОВ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА И ВОЗБУДИТЕЛЯ

Коробка выводных концов статора генератора или возбудителя предохраняет выводные концы электрических машин от механических повреждений и случайных коротких замыканий.

Она состоит из электрического щитка (доски зажимов), прикрепленного к корпусу электрической машины. Щиток снабжен выводными шпильками с гайками для подсоединения выводных концов и сетевых проводов. Шпильки должны быть надежно изолированы между собой и от корпуса электрической машины (рис. 76). Сверху доска зажимов закрывается крышкой с вырезом для вывода сетевых проводов. Крышка крепится к корпусу электрической машины при помощи шпильки с гайками и изолируется от выводных концов обмотки и сетевых проводов.

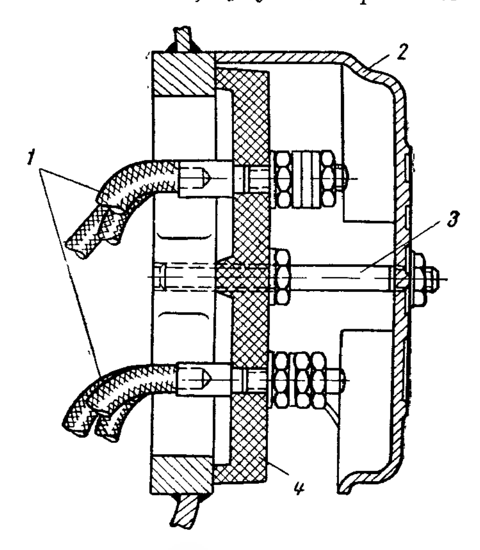


Рис. 76. Коробка выводов (схема крепления):

1 — выводы обмотки; 2 — крышка доски зажимов; 3 — шпилька; 4 — доска зажимов.

Неисправности коробки состоят в нарушении электрической и механической прочности доски зажимов, трещинах в крышке доски зажимов и нарушении резьбы на крепежных шпильках.

Для устранения неисправности доски зажимов отвертывают гайку шпильки или винт и снимают крышку. Затем проверяют мегомметром от 500 до 1000 *в* изоляционное состояние доски зажимов. При проверке определяют сопротивление крепежных и выводных шпилек по отношению к электрическому щитку и к корпусу. Если доска зажимов имеет трещины или покрылась копотью и нагаром, ее снимают, чистят, снова проверяют изоляционные свойства и, при необходимости, изготовляют новую доску. Чтобы снять доску зажимов, отвертывают гайки с контактных болтов, снимают соединительные полосы и шайбы, отъединяют выводные концы обмотки от контактных болтов, затем с помощью отвертки отделяют ее от корпуса электрической машины и снимают эскиз с размерами старой доски зажимов. Для изготовления доски можно использовать текстолит, гетинакс, фибру и другие изоляционные материалы. Доску устанавливают и закрепляют на корпусе электрической машины, подсоединяют выводные концы обмотки и устанавливают крышку доски зажимов.

При подсоединении выводных концов обмотки не следует допускать слабого контакта в местах соединения. Концы должны иметь наконечники в исправном состоянии. Крепление проводов сечением более 5 *мм* без наконечников не допускается. Выводные концы обмотки в местах прохода через корпус электрической

машины изолируют резиновыми или другими изоляционными втулками. Трещины в крышках заделывают автогенной или электрической сваркой.

При нарушении резьбы крепежных шпилек их заменяют новыми или восстанавливают резьбу.

22. СБОРКА ВОЗБУДИТЕЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Сборка возбудителя должна производиться в определенной последовательности, так как сначала собирают основные узлы, а затем уже приступают к сборке всей машины.

Основными узлами являются подшипниковые щиты с вкладышами, коллектор, щеткодержатели со щетками, полюса с полюсными катушками и т. п. Для проведения сборки необходимо предварительно подготовить материал и приспособления. Все детали должны быть очищены от грязи и хорошо промыты.

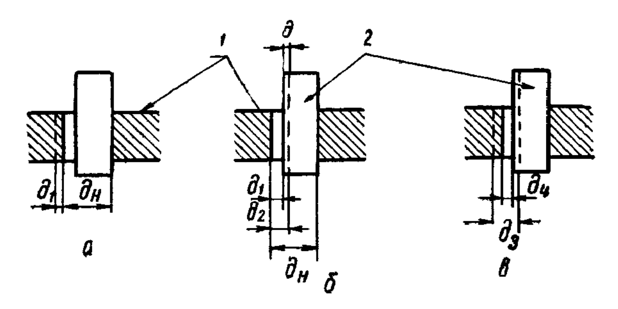


Рис. 77. Слабина щеток в обоймах щеткодержателей:

а — отклонения и допуски обоймы; *б* — отклонения и допуски щеток; *в* — слабина щетки в обойме; *1* — обойма; *2* — щетка; $d_н$ — номинальный размер.

Проверяют состояние шпоночных канавок и шпонок, вала и втулки коллектора, осматривают коллектор, обмотки якоря и корпуса возбудителя. Если же якорь возбудителя крепится непосредственно на валу генератора, то дополнительно проверяют шпоночные канавки и шпонку вала ротора и втулки якоря, после чего якорь возбудителя насаживают на вал ротора генератора, закрепляют гайкой и контрят.

При креплении полюсов к корпусу возбудителя нужно руководствоваться метками, нанесенными при разборке, а катушки возбудителя соединяют по схеме пайкой, применяя электропаяльник с припоем ПОС-40. Места соединения изолируют лакотканью и изоляционной лентой; после чего насаживают катушки на полюса и закрепляют.

Затем собирают комплект щеткодержателей и щеток на закрепленной траверзе, предварительно определяют исправность щеткодержателей. При сборке комплекта пользуются слесарным

молотком и деревянными или медными прокладками. Нужно следить, чтобы не было перекосов относительно коллектора, а также проверять правильное положение щеток на коллекторе по диаметру и по длине пластин и проверять положение щеток в щеткодержателях траверзы. Щетки должны свободно, без заедания двигаться в направляющих щеткодержателей (рис. 77). Отклонения и допуски на установку щеток в обоймах щеткодержателей указаны в таблице 39.

Таблица 39

Отклонения и допуски установки щеток в обоймах щеткодержателей

Отклонения и допуски		Обозначения	Отклонения и допуски (в *мм*) в осевом направлении	в направлении вращения при ширине щеток до 16	выше 16
Отклонения и допуски обоймы	Верхнее отклонение	∂_1	+0,15	+0,12	+0,14
	Нижнее отклонение	∂_2	0	0	0
	Допуск	∂	0,15	0,12	0,14
Отклонения и допуски щеток	Верхнее отклонение	∂_1	—0,2	—0.06	—0,07
	Нижнее отклонение	∂_2	—0,35	—0,18	—0,21
	Допуск	∂	0,15	0,12	0,14
Слабина щетки в обойме	Наименьшая слабина	∂_4	0,2	0,06	0,07
	Наибольшая слабина	∂_3	0,5	0,30	0,35

После установки комплекта щеткодержателей подсоединяют провода от катушек возбудителя и траверзы к распределительному щитку возбудителя, затем устанавливают щит возбудителя со стороны коллектора.

По окончании сборки узлов и деталей на корпусе возбудителя его устанавливают на вал генератора и крепят к подшипниковому щиту или к станине генератора. При насадке следят за точностью крепления возбудителя и состоянием коллектора обмоток и проводов.

Проверяют прилегание щеток к коллектору (давление их должно быть в пределах от 130 до 200 $г/см^2$), замеряют зазоры

между якорем и полюсами; допустимое отклонение зазоров должно быть в пределах $+10\%$ к среднему одностороннему зазору. Далее соединяют провода от коллектора к контактным кольцам и от щитка корпуса к реостату возбудителя. Чтобы не перепутать схему соединений, нужно маркировать детали.

Затем проверяют правильность сборки возбудителя, вращение вала возбудителя и генератора от руки, после чего пускают генератор в ход.

Проверяют электрические параметры возбудителя и сдают исправно работающий возбудитель мастеру.

Возбудители, смонтированные не на одном валу с генератором, собирают так же, как и электрические машины постоянного тока нормального исполнения.

23. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины, как правило, собирают из отремонтированных узлов и деталей данной машины. Новые детали должны соответствовать заводским чертежам, относящимся к определенной конструкции машины.

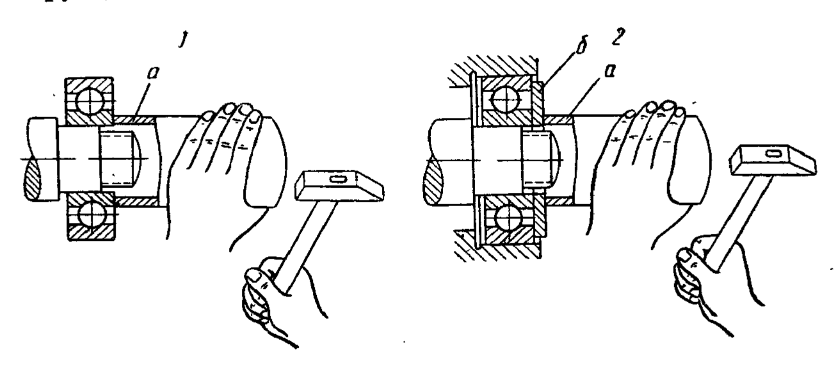


Рис. 78. Насадка шариковых подшипников на шейки вала и в корпус:

1 — на шейку вала с помощью отрезка трубы *а*; 2 — на шейку вала в корпус с натягом при помощи отрезка трубы *а* и подкладки *б*.

Электродвигатели собирают в такой последовательности: надевают на вал внутренние фланцы, на шейки вала до упора в заплечики насаживают шариковые и роликовые подшипники (рис. 78). После этого на шариковый подшипник надвигают задний подшипниковый щит так, чтобы шпильки фланца попали в отверстия щита, и закладывают в подшипник консистентную смазку.

Перед сборкой подшипниковые щиты и корпус статора проверяют на отсутствие трещин осмотром и простукиванием молотком. Затем в расточку статора укладывают лист электрокартона и вводят в него ротор (рис. 79). Прокладка из электрокартона необходима для предохранения поверхности ротора и статора от по-

вреждений. Перед сборкой ротор должен быть статически отбалансирован. Ротор собранного электродвигателя должен легко провертываться без заеданий. Примерная величина разбега ротора указана в таблице 40.

Таблица 40

Величина разбега ротора

Мощность электродвигателя (в *квт*)	До 5	От 6 до 30
Разбег ротора (в *мм*)	1,5—3	3—5

Ротор удерживается в центральном положении магнитным полем. Разбег же необходим для того, чтобы вал при малейшем смещении не стирал заточками торца вкладышей подшипников и не вызывал добавочные усилия или трение сопряженных частей машины.

После того, как установлен на место ротор и вынута из расточки статора прокладка из электрокартона, на которой лежал ротор, в заточку подшипникового щита вставляют фланец, который закрепляют при помощи гаек, навернутых на шпильки. Затем закрепляют вставленный в расточку корпуса задний подшипниковый щит и так же вставляют и закрепляют передний подшипниковый щит и фланец. При креплении подшипниковых щитов болты затягивают на пол-оборота попеременно (диаметрально противоположные).

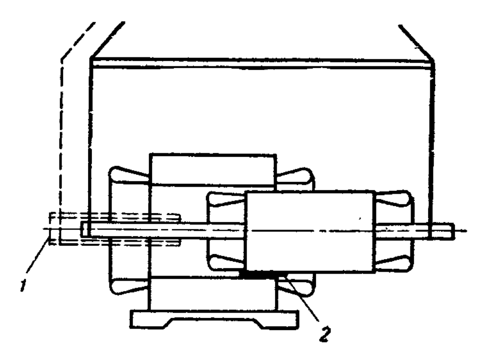


Рис. 79. Установка ротора в корпус статора:

1 — труба; *2* — лист электрокартона.

При сборке надо следить, чтобы зазор между фланцем с лабиринтовыми уплотнениями и валом был не более 0,5 *мм*, что обеспечивает надежное уплотнение подшипников. Установка подшипниковых щитов в корпусе должна соответствовать скользящей посадке. При разработке в замках подшипниковых щитов возможны отступления от допусков до 50%. При разработке в замках свыше 50% допускается, в зависимости от конструкции электродвигателя, расточка нового замка или применение контрольных шпилек.

Отверстия подшипникового щита, где устанавливаются подшипники, должны быть перед монтажом тщательно промыты и проверены.

Установка шариковых и роликовых подшипников в подшипниковый щит должна соответствовать скользящей посадке (табл. 41).

Таблица 41

Установка подшипников в подшипниковый щит (размеры в *мм*)

Номинальные диаметры	Отклонения наружного диаметра подшипника		Отклонения отверстия		Натяги	
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	наибольший	наименьший
До 50	—	—	—	—	—	—
50—80	0	—0,020	—0,010	+0,020	+0,010	—0,040
80—120	0	—0,023	—0,012	+0,023	+0,012	—0,046

В связи с удлинением вала при его нагреве необходимо при сборке машин с шариковыми и роликовыми подшипниками предусматривать возможность осевого перемещения подшипника в гнезде подшипникового щита на 0,4—1,0 *мм*. При надевании на конец вала вентилятора и кожуха нужно следить, чтобы не было перекоса вентилятора на валу.

Зазор между вентилятором и лобовой частью обмотки устанавливают в зависимости от числа оборотов и мощности машины. Затем проверяют вращение двигателя вручную и при подведенном напряжении, нагрев подшипников, отсутствие шума и вибрации, число оборотов, а также воздушный зазор (щупом в четырех попарно противоположных точках по окружности расточки статора с обеих его сторон).

Зазор не должен быть больше величин, указанных в таблице 42.

Таблица 42

Воздушные зазоры (в *мм*)

	Асинхронные двигатели при числе оборотов вала в 1 *мин*			
	500—1500		3000	
	нормальный зазор	увеличенный зазор	нормальный зазор	увеличенный зазор
0,12—0,25	0,20	0,30	0,25	0,40
0,5—0,75	0,25	0,40	0,30	0,50
1,0—2,0	0,30	0,50	0,35	0,50
2,0—7,5	0,35	0,65	0,50	0,80
10,0—15,0	0,40	0,65	0,65	1,0
20,0—40,0	0,50	0,80	0,80	1,25

Отклонение величины зазора от среднеарифметической величины допускается не больше ±10%.

При сборке синхронных генераторов надевают на полюса ротора генератора или возбудителя нагретые катушки, устанавливают на место и прикрепляют полюса болтами. Катушки должны

быть плотно насажены на полюса и не выходить за пределы полюсного наконечника. При гнутой конструкции между корпусом и катушкой, а также между полюсным башмаком и катушкой ставят прокладки из электрокартона.

Если обмотки и полюсные катушки генератора не были заменены при ремонте, то до сборки их очищают, продувают и, если необходимо, сушат и покрывают лаком, затем регулируют расстояние между противоположными полюсами попарно, расстояние между полюсными наконечниками соседних полюсов и окончательно затягивают полюсные болты. Катушки соединяют по схеме, зафиксированной при разборке.

Траверзу надевают на заточку переднего подшипникового щита или корпус возбудителя по риске или метке на траверзе и торцовой части корпуса возбудителя; расстояния между концами пальцев щеткодержателей должны быть попарно одинаковы. После этого на вал монтируют вентилятор, контактные пальцы, подшипники, затем устанавливают ротор в расточку статора и уравнивают торцы пакета статора с краями главных полюсов.

Примерная величина разбега ротора с подшипниками скольжения указана в таблице 43.

Таблица 43

Величина разбега ротора с подшипниками скольжения

Мощность генератора (в *квт*)	До 5	6—50	Свыше 50
Разбег ротора (в *мм*)	1,5—3	4—5	6—8

Разбег измеряют при помощи стальной линейки с делением в 1 *мм* от торцов вкладышей до ближайших буртиков вала. Вкладыш подшипника закрепляют стопорным винтом, в окнах его ставят смазочные кольца и заполняют маслом ванну подшипника. Смазочные кольца погружают в масло на 0,20—0,25 их диаметра.

После установки и закрепления подшипниковых щитов вставляют щетки в обоймы щеткодержателей и присоединяют поводки щеток к траверзе. Перед установкой щеток измеряют воздушный зазор между якорем и полюсами. Для регулировки воздушного зазора можно ставить под полюса стальные подкладки толщиной не более 0,5 *мм*; подкладки должны иметь отверстия и насаживаться на болты, крепящие полюса к ротору или станине. Щетки устанавливают так, чтобы они имели одинаковое нажатие, наклон — по направлению вращения коллектора или колец.

Для проверки качества сборки ротор генератора провертывают сначала вручную, а затем при подведенном напряжении. Проверяют правильность электрической схемы соединений генератора, отсутствие замыканий обмоток на корпус; во время контрольных испытаний на холостом ходу и под нагрузкой проверяют со-

стояние подшипников, число оборотов, ток холостого хода и нагрузки.

После испытания на электрическую машину крепят табличку-паспорт, в котором указывается мощность машины, ток, число оборотов, соединение и т. д. Обозначения на табличке набивают шрифтом 4 *мм*, глубиной 0,5—0,7 *мм*. Табличку вырезают из белой жести толщиной 1 *мм* и размером не более 62 × 125 *мм* и прикрепляют перпендикулярно валу машины.

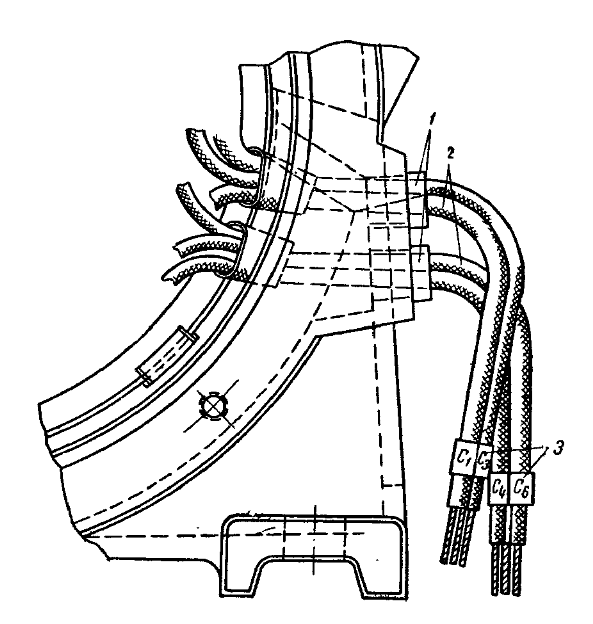


Рис. 80. Обозначения выводных концов обмоток:

1 — изоляционные втулки; 2 — выводные концы статорной обмотки; 3 — маркировочные обжимки.

Выводные концы, снабженные обозначениями, надо связать вместе и предохранить от обрыва (рис. 80). Выводные концы обмоток обозначают по ГОСТу 183—55 (табл. 44). После этого отремонтированную машину сдают в отделку.

Окраска электрических машин после ремонта. Наружную поверхность машины очищают от грязи и пыли, удаляют старую окраску машин в местах с значительным повреждением. После этого поверхность машины шпаклюют, отшлифовывают и протирают. Перед шлифовкой поверхности слой шпаклевки нужно тщательно просушить. Отшлифованную и очищенную от пыли поверхность грунтуют одним или двумя слоями жидкой краски с добавлением небольшого количества скипидара. После просыхания прогрунтованной поверхности ее вновь шлифуют и протирают. Краска

должна быть гладкой, без комков и покрывать окрашиваемую поверхность ровным слоем. Между окраской машины в первый и второй раз краска должна сохнуть в течение нескольких часов.

На обоих торцах окрашенной машины наносят стрелки, указывающие направление вращения вала.

Таблица 44

Обозначение выводов статорных обмоток трехфазных машин переменного тока

Схема соединения обмотки	Число выводов	Название выводов	Обозначения	
			начало	конец
Открытая схема	6 выводов	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	C1 C2 C3	C4 C5 C6
Соединение звездой	3 или 4 вывода	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая точка (независимо заземлена она или нет)	C1 C2 C3 0	
Соединение треугольником	На 3 зажима 3 вывода	Первый зажим Второй зажим Третий зажим	C1 C2 C3	

Примечание. 1. Буквой *С* обозначают обмотки статора. 2. Цифрами 1, 2, 3 — начало фаз. 3. Цифрами 4, 5, 6 — концы фаз. 4. Концы обмоток, соединенные между собой внутри машины и не выведенные наружу, не обозначаются.

Глава III

РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. РАЗБОРКА ТРАНСФОРМАТОРА

Трансформатор перед разборкой на узлы тщательно очищают снаружи от пыли и грязи и протирают тряпкой, смоченной трансформаторным маслом.

Разборку трансформатора (рис. 81) начинают с осмотра состояния подъемных крюков, проверки веса трансформатора и соответствия его грузоподъемности подъемника, а также исправности и надежности закрепления строп.

Данные для определения веса трехфазных силовых трансформаторов приведены в таблице 45.

Таблица 45

Определение веса трансформаторов

Тип трансформатора	Вес (в кг)			
	трансформатора полный	масла	выемной части с крышкой и расширителем	кожуха с арматурой
ТМ-10/6	345	130	125	90
ТМ-20/6	365	125	150	90
ТМ-20/10	525	195	250	80
ТМ-50/6	600	210	250	140
ТМ-50/10	700	265	340	95
ТМ-100/6	890	280	450	160
ТМ-100/10	1000	345	475	180
ТМ-180/6	1280	345	605	330
ТМ-180/10	1360	430	660	270
ТМ-180/35	2100	790	920	390
ТМ-320/6	1730	480	880	370
ТМ-320/10	1780	520	880	380
ТМ-320/35	2730	970	1230	530
ТМ-560/10	3040	1000	1460	580
ТМ-560/35	3930	1310	1900	720

Стропы для подъема трансформатора должны быть такой длины (рис. 82), чтобы угол α был не более 15°, в других случаях кожух крепят к подъемному крюку с вставленным между ветвями строп брусом (рис. 83), допускаемая нагрузка будет почти в два раза меньше, чем в вертикальном направлении. После проверки

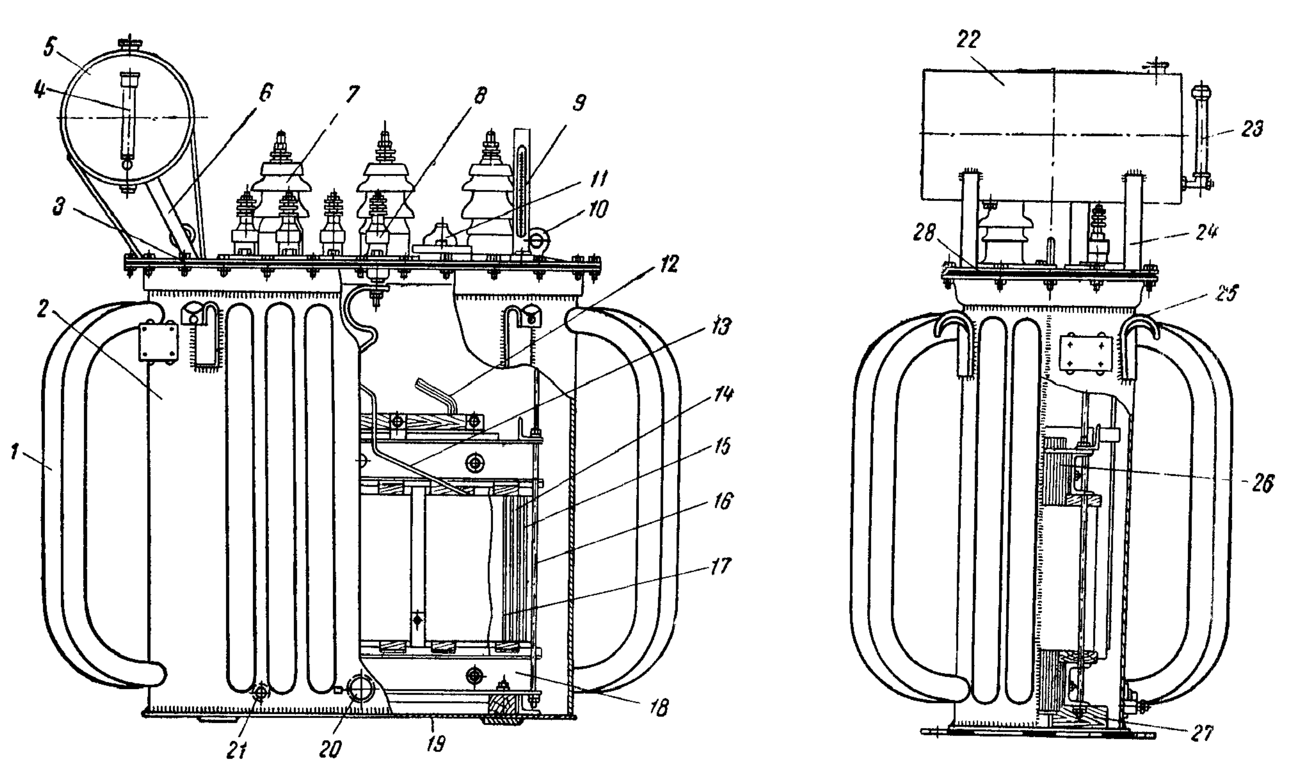


Рис. 81. Общий вид трансформатора и наименование его частей:

1 — труба; *2* — кожух; *3* — крышка; *4* — маслоуказатель; *5* — расширитель; *6* — патрубок расширителя; *7* — вывод ВН; *8* — вывод НН; *9* — установка термометра; *10* — подъемное кольцо (рым); *11* — переключатель; *12* — отводы ВН; *13* — отводы НН; *14* — изоляция; *15* — обмотки ВН; *16* — подъемная шпилька; *17* — обмотка НН; *18* — швеллер, прессующий ярмо магнитопровода; *19* — дно кожуха; *20* — пробка для спуска масла; *21* — болт для заземления; *22* — расширитель; *23* — маслоуказатель; *24* — скоба; *25* — подъемный крюк; *26* — шихтованный провод со ступенчатым ярмом; *27* — подкладка; *28* — подкрышечное уплотнение.

трансформатор поднимают и доставляют на сливную решетку. В трансформаторе с расширителем, доставленном на сливную решетку, масло спускают без разбрызгивания до уровня ниже подкрышечного уплотнения, а в трансформаторе без расширителя — ниже боковых выводов.

При вскрытии трансформатора в сухую погоду относительная влажность воздуха в помещении должна быть в пределах 50—60%; в сырую погоду в помещении создают температуру на 10% выше температуры наружного воздуха.

Чтобы температура сердечника при вскрытии трансформатора не была ниже температуры окружающего воздуха, трансформатор

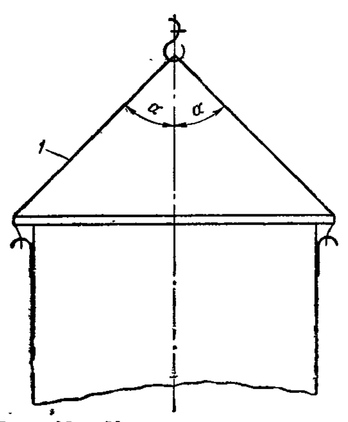


Рис. 82. Крепление кожуха к подъемному крюку при помощи стропа:

1 — строп.

Рис. 83. Крепление кожуха к подъемному крюку:

1 — брус; 2 — строп.

должен простоять в помещении не менее суток. После спуска масла освобождают крышку трансформатора от болтов и с помощью стропа, закрепленного за рымы, поднимают выемную часть и оставляют ее на 10—15 минут над кожухом в подвешенном состоянии для стекания масла. Выемную часть приподнимают настолько, чтобы сердечник полностью вышел из масла. При подъеме надо следить, чтобы выемная часть не задевала за стенки кожуха. На снятые болты навертывают гайки и кладут их на противень или в ящик.

Выемную часть осматривают, отмечают места наибольшего скопления осадков и промывают, после чего вторично осматривают для определения качества промывки (особенно каналов между обмотками и магнитопроводом), проверяют состояние обмоток, магнитопровода, переключателя (переводом по всем положениям) и изоляторов. Параллельно с этим сливают через нижний спускной кран оставшееся масло в кожухе трансформатора и отправляют кожух в ремонт.

Выемную часть устанавливают на разборочный стол, предварительно подставив противень из листовой стали для сбора остатков стекающего масла. Разборку выемной части производят при повреждениях обмоток и стали пакета магнитопровода, когда они не могут быть устранены без разборки сердечника, а также в том случае, если сердечник трансформатора сильно загрязнен и не может быть очищен без разборки. Сначала распаивают все концы обмоток от выводов.

В некоторых типах трансформаторов концы обмоток низкого напряжения освобождают перед подъемом выемной части из кожуха. После распайки и отъединения отводов катушек от выводов снимают крышку с арматурой и устанавливают ее на деревянные или металлические козлы. Верхнее ярмо разбирают (расшихтовывают) после снятия стяжных шпилек, крепящих магнитопровод.

После расшихтовки концы стержней обычно расходятся веером, поэтому, чтобы не повредить изоляцию обмотки, их связывают миткалевой лентой. При разборке следят за состоянием витковой изоляции, ее механической прочностью, хрупкостью, за состоянием прокладок, планок, реек, за прочностью крепления их, усушкой, отсутствием деформаций и смещений обмоток в радиальном направлении, а также сдвигов изоляционных прокладок и планок, за исправностью всех доступных мест пайки на обмотках, исправностью отводов охлаждающих каналов между обмотками и между сердечником и обмоткой.

При разборке устанавливают также число катушек и тип их, внешние размеры, вес, марку, диаметр или размеры провода, число слоев и витков в слое.

2. РЕМОНТ КОЖУХА

Кожух трансформатора защищает токоведущие части от механических повреждений, служит резервуаром для масла, отводит в атмосферу тепло, получаемое от обмоток и магнитопровода и предохраняет обслуживающий персонал от соприкосновения с узлами и деталями, находящимися под напряжением.

Кожухи делают гладкими для трансформаторов до 50 *ква*, ребристыми, обладающими значительно большей поверхностью охлаждения, мощностью от 50 *ква* и выше и трубчатыми. Трубчатые кожухи просты по конструкции и обладают большей механической прочностью, их изготовляют цельносваренными со стенками из листовой стали толщиной 4—6 *мм* и дном из котельной стали толщиной 6—8 *мм*.

Отмечают следующие дефекты кожуха: ржавчина, загрязнение в виде твердого шлама на поверхности кожуха, вмятины и погнутость, трещины в местах сварки, стертость краски.

Поверхность кожуха очищают от ржавчины металлической щеткой или металлическим скребком, затем промывают отработанным трансформаторным маслом, нагретым до 40—50° под

давлением 3—5 атмосфер, и закрывают картоном или другим плотным материалом для предохранения от попадания пыли и загрязнения.

Вмятины или погнутости устраняют ударами молотка по предварительно нагретому паяльной лампой месту, подставляя массивный упор со стороны, противоположной удару.

Завариваемые трещины должны быть тщательно очищены, а кожух промыт теплой водой или 15—20-процентным раствором каустической соды. Трещины в ребрах и стенках кожуха заделывают газовой сваркой, а в трубах — электросваркой. Сварочный шов должен быть плотным, ровным, без трещин, раковин и пережога. Тонкие волосяные трещины можно зачеканивать крейцмейселем, зубилом или запаивать оловом, но только после тщательной очистки мест пайки. В отдельных случаях, когда невозможно устранить сваркой повреждение ребер или труб кожуха, допускается заглушать с помощью заплат в одном трансформаторе не более четырех труб и не более шести углов или целых ребер кожуха.

После заварки трещин, наложения заплат и т. д. проверяют плотность швов. Для этого швы с наружной стороны покрывают мелом, а с обратной стороны места сварки смачивают керосином. При плохой сварке керосин проникает через неплотности шва на другую сторону и смачивает мел, который от этого темнеет. После ремонта кожух трансформатора проверяют на отсутствие течи. Для этого кожух заливают отработанным трансформаторным маслом до борта и выдерживают в залитом состоянии в течение двух часов.

После ремонта кожух трансформатора очищают, промывают 15—20-процентным раствором каустической соды и насухо вытирают. После этого кожух нужно прошпаклевать, отшлифовать и протереть в местах шпаклевки. Поверхность кожуха шпаклюют в тех местах, где имеются неровности и выбоины. Перед шлифовкой слой шпаклевки следует тщательно просушить.

Поверхность кожуха перед окраской должна быть прогрунтована одним или двумя слоями жидкой краски с добавлением небольшого количества скипидара. После того, как прогрунтованная поверхность подсохнет, ее шлифуют и протирают досуха.

Окрашивать можно пульверизатором или волосяной кистью. Внутреннюю поверхность окрашивают маслостойкой эмалью № 624 или 1202, а наружную — маслостойкой черной нитрокраской воздушной сушки или масляной эмалью ФСХ-25.

3. РЕМОНТ РАСШИРИТЕЛЯ

В расширителе (рис. 84) отмечают следующие дефекты: загрязнение и ржавчину на наружной и внутренней поверхности; нарушение сварки в местах крепления скоб, маслоуказателя и патрубка; загрязнение или повреждение масломерного стекла; протекание масла в уплотнениях маслоуказателя; неправильное пока-

зание уровня масла в масломерном стекле; стертость или отсутствие окраски; нарушение контрольных отметок уровня масла.

Загрязнение и ржавчину на наружной поверхности расширителя устраняют металлической щеткой с последующей протиркой насухо чистой ветошью.

Ржавчина внутри расширителя появляется в результате конденсирования влаги, попадающей в расширитель вместе с воздухом; при простукивании она отскакивает от внутренних стенок расширителя с характерным шумом.

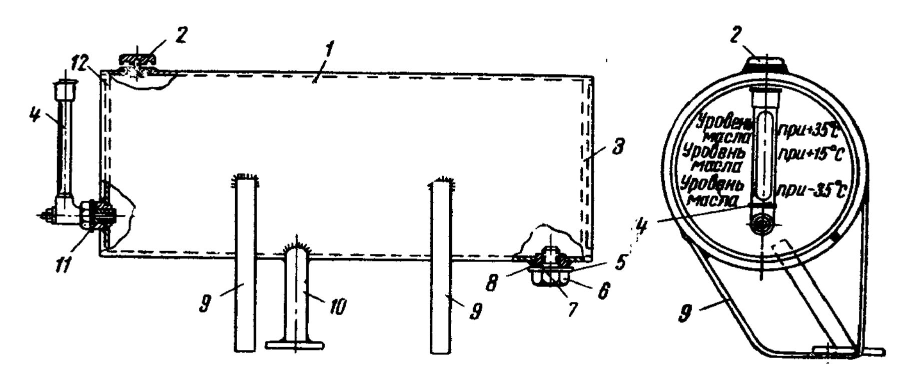


Рис. 84. Расширитель:

1 — труба; 2 и 6 — пробки; 3 — заднее дно; 4 — маслоуказатель; 5 — шайба; 7 — асбестовый шнур; 8 — штуцер; 9 — скоба; 10 — патрубок; 11 — уплотнение; 12 — среднее дно.

Для устранения загрязнения и ржавчины заднее дно расширителя вырезают газосварочным аппаратом или наждачным камнем, вставленным в специальное приспособление (рис. 85).

В этом случае расширитель устанавливают задним дном на платформу стола приспособления и при помощи вращающегося наждачного камня вырезают дно так, чтобы по окружности расширителя остался выступ — кольцо, к которому после очистки можно приварить новое дно (рис. 86). Ржавчину на внутренней поверхности удаляют также при помощи металлической щетки, после чего внутреннюю поверхность расширителя промывают керосином или бензином или протирают чистой тряпкой, смоченной в керосине или бензине, потом просушивают, покрывают лаком № 1201, просушивают вторично и приваривают новое дно к расширителю.

Иногда внутреннюю поверхность расширителя покрывают лаком после приварки заднего дна. Для этого в хорошо просушенный расширитель заливают небольшое количество лака и вращают расширитель так, чтобы лак смочил всю внутреннюю поверхность. После этого расширитель с открытыми отверстиями помещают в печь с температурой 95—100° на 8—12 часов.

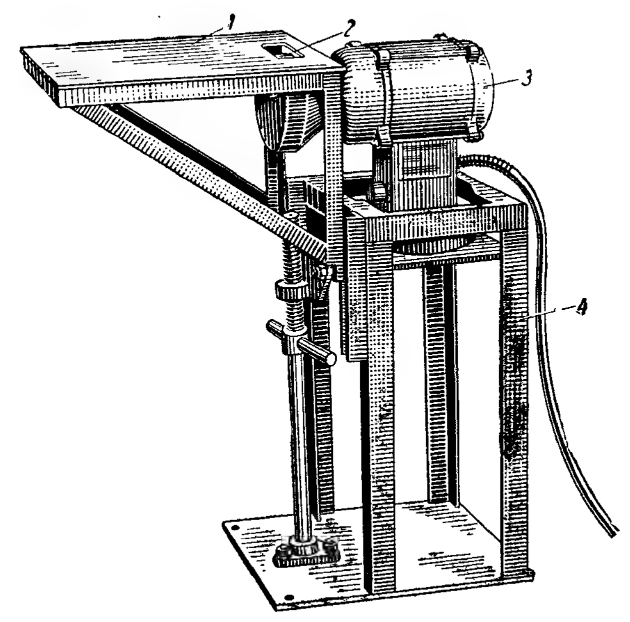


Рис. 85. Приспособление для вырезания дна расширителя:

1 — платформа стола; *2* — отверстие для наждачного камня; *3* — электродвигатель; *4* — стол.

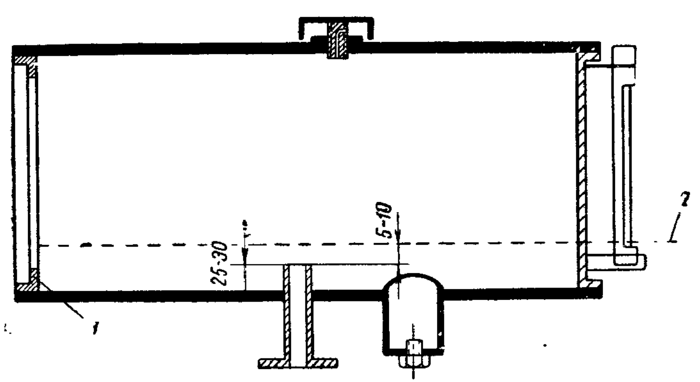


Рис. 86. Расширитель с вырезанным задним дном (размеры в *мм*):

1 — бортик; *2* — низший видимый уровень масла.

При нарушении сварки в местах крепления скоб, маслоуказателя и патрубка поверхности очищают до металлического блеска и приваривают ацетилено-кислородным пламенем, не допуская пережога.

Патрубок, соединяющий расширитель с кожухом трансформатора, должен выступать на 25—30 *мм* выше низшей линии поверхности расширителя (рис. 86). Это необходимо для того, чтобы отстой грязи и влаги, находящейся в нижней части расширителя, не попадал в кожух.

Загрязненное или поврежденное стекло маслоуказателя (рис. 87) затрудняет наблюдение за уровнем масла, поэтому такое стекло нужно вынуть из арматуры, прочистить или заменить новым, а предварительно слить масло из расширителя через нижнее отверстие, предназначенное для спуска воды и грязи или перекрыть краник. Затем вывертывают верхнюю пробку маслоуказателя, вынимают масломерное стекло и очищают его тряпкой, намотанной на проволоку и смоченной сухим трансформаторным маслом. При установке стеклянной трубки в корпус маслоуказателя нужно обеспечить плотное прилегание конца трубки к плоскости гнезда маслоуказателя, в котором находится маслостойкая прокладка.

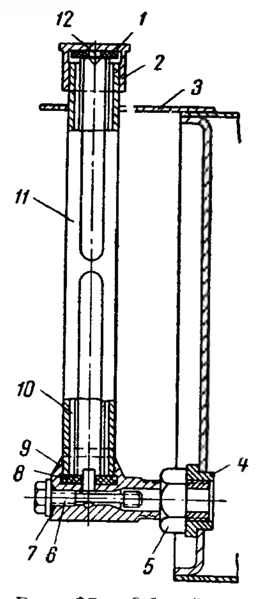


Рис. 87. Общий вид маслоуказателя:

1 — резиновая шайба; *2* — колпак; *3* — пластина; *4* — штуцер; *5* — гайка; *6* — фасонный стальной винт; *7* — асбестовое уплотнение; *8* — направляющая стальная трубка; *9* — колено; *10* — стеклянная трубка; *11* — защитная оправка; *12* — отверстие для поступления воздуха.

Чтобы соединить расширитель со стеклом, расширитель заливают маслом или открывают краник, после чего следует один-два раза выпустить из масломерного стекла масло для проверки проходимости канала для обратного хода масла. Просачивание масла в нижней части масломерного стекла устраняют резиновой прокладкой или асбестовым шнуром, пропитанным бакелитовым лаком.

Неправильное показание уровня масла бывает по следующим причинам:

а) засорился канал, соединяющий расширитель с маслоуказателем, масло не поступает из расширителя в стекло и обратно и уровень его в стекле остается постоянным или меняется с большим опозданием против уровня в расширителе;

б) забито отверстие в верхней пробке маслоуказателя и полость стекла не соединяется с атмосферой, вследствие чего при высокой температуре масла показания уровня его уменьшаются, а при низкой температуре увеличиваются по сравнению с действительным уровнем;

в) забиты дыхательные отверстия в верхней пробке расширителя.

Эти недостатки маслоуказателя устраняют прочисткой тонкой проволокой отверстий в пробках и каналах между маслоуказателем и расширителем. После прочистки пробки промывают в сухом масле и проверяют отверстия продувкой.

Затем укладывают расширитель на подставку, заливают трансформаторным маслом и выдерживают в течение двух часов для проверки отсутствия течи.

Наружную поверхность расширителя покрывают маслостойкой краской при помощи пульверизатора или волосяной кисти.

Если на расширителе нарушены контрольные отметки уровня масла, их нужно восстановить белой краской на плоской стенке расширителя у масломерного стекла. Одна отметка на высоте 0,55 диаметра расширителя соответствует температуре +35°, вторая на высоте 0,45 — температуре +15° и третья на высоте 0,1 –0,2 — температуре —35°.

4. РЕМОНТ КРЫШКИ

Для устранения неисправностей крышку устанавливают на козлы (рис. 88) и разбирают в такой последовательности: отвертывают гайки со шпилек, крепящих патрубок расширителя,

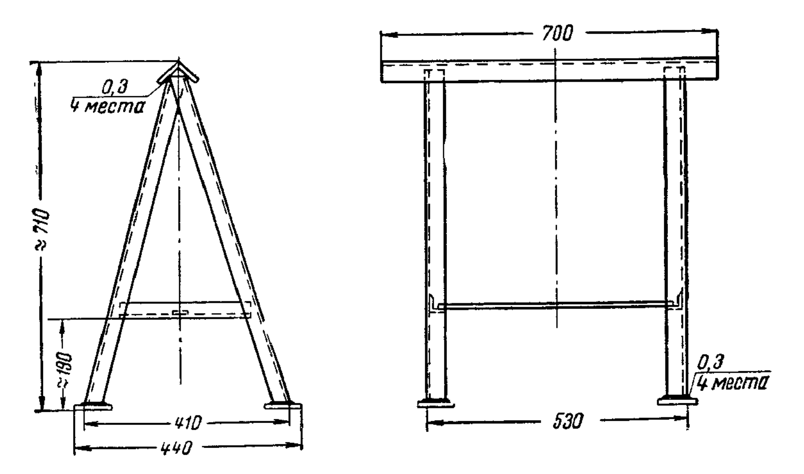


Рис. 88. Козлы для разборки крышки трансформатора (размеры в *мм*).

а также гайки болтов, крепящих скобы, и отнимают расширитель от крышки, затем отвертывают болты крепления переключателя и отъединяют его от крышки, освобождают гайки шпилек для крепления выводов, отъединяют от крышки фланцы и выводы высшего и низшего напряжения, отвертывают гайки крепления корпуса установки ртутного термометра к крышке и отъединяют

установку от крышки, отвертывают подъемные кольца, гайки, снимают уплотнения, освобождают крышку от подъемных шпилек, снимают старое уплотнение из-под фланцев, фарфоровых выводов, патрубка расширителя, переключателя и установки ртутного термометра.

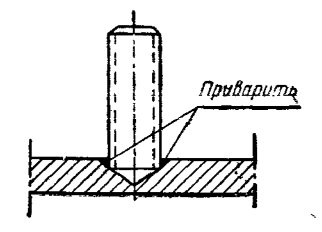


Рис. 89. Шпилька, приваренная к крышке.

Вмятины или покоробленности исправляют на наковальне ударами молотка или кувалды по предварительно нагретому паяльной лампой месту. Вместо наковальни можно подставить под лист массивный упор со стороны, противоположной удару. Трещины заваривают.

Нарушение приварки шпилек, крепящих фланцы вертикальных фарфоровых выводов к крышке, устраняют приваркой концов шпилек к крышке (рис. 89).

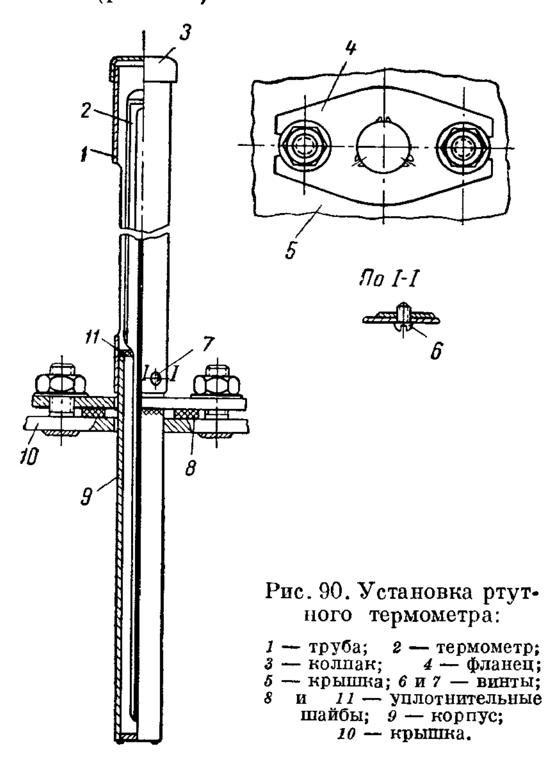


Рис. 90. Установка ртутного термометра:

1 — труба; *2* — термометр; *3* — колпак; *4* — фланец; *5* — крышка; *6* и *7* — винты; *8* и *11* — уплотнительные шайбы; *9* — корпус; *10* — крышка.

Перед заваркой поверхности шпилек и крышки зачищают до металлического блеска. Шпильки приваривают электросваркой с лицевой стороны крышки. Наваренный металл должен быть плотным, без пористости.

Погнутые или с сорванной резьбой шпильки спиливают или срубают и приваривают к крышке новые.

Перед снятием ржавчины с внутренней поверхности крышки при помощи металлического скребка на ржавые пятна кладут на несколько часов концы, смоченные керосином, а затем покрывают крышку с внутренней стороны антиконденсационной эмалью СВД или нитроэмалью.

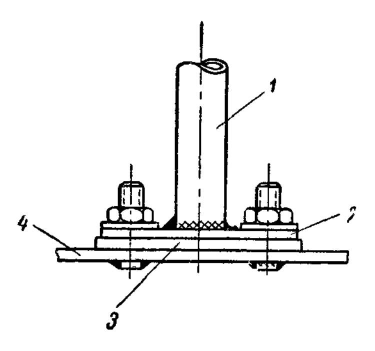


Рис. 91. Крепление патрубка расширителя к крышке:

1 — патрубок расширителя; 2 — фланец патрубка; 3 — уплотнительная шайба из маслостойкой резины; 4 — крышка.

Крышку собирают в такой последовательности: устанавливают под фланцы уплотнения из маслостойкой резиновой пластины толщиной 6—8 *мм* на резиновом клее — группа 6—7 ТУ № 233—П МХП или из листовой пробки толщиной 6—8 *мм* (на бакелитовом лаке); пробковое уплотнение предварительно пропитывают в течение 5 минут глифталевым лаком № 1154; после того, как смонтировано подфланцевое уплотнение, устанавливают выводы высшего и низшего напряжения и закрепляют фланцы к крышке на шпильках при помощи гаек, равномерно по всей длине окружности, не допуская перекоса, затем устанавливают на место переключатель и завертывают гайки шпилек, крепящих переключатель к

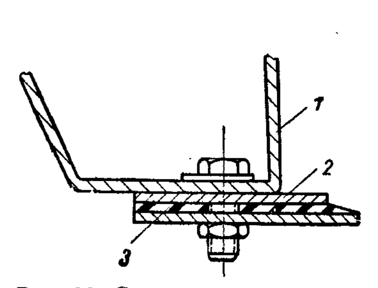


Рис. 92. Схема крепления скобы расширителя к крышке:

1 — скоба; 2 — крышка; 3 — прокладка из маслоупорной резины.

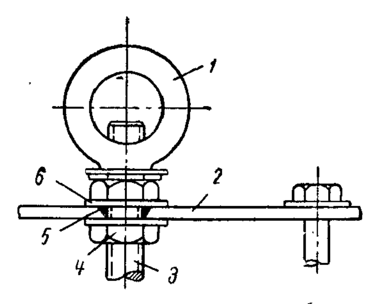


Рис. 93. Крепление подъемной шпильки и кольца:

1 — подъемное кольцо; 2 — крышка; 3 — шпилька; 4 — гайка; 5 — шнур; 6 — шайба.

крышке. Собранный переключатель вставляют сверху через отверстие в крышке (диаметр отверстия равен 132 *мм*, на 2 *мм* больше диаметра гетинаксового диска), после этого устанавливают ртутный термометр и прикрепляют к крышке (рис. 90). Между фланцем корпуса ртутного термометра и крышкой трансформатора ставят уплотнительную шайбу из маслостойких материалов.

Расширитель устанавливают так, чтобы маслоуказатель находился со стороны выводов низшего напряжения, затем завертывают гайки с шайбами на шпильках, крепящих патрубок расширителя к крышке (рис. 91), завертывают гайки болтов, крепящих скобы к крышке, как показано на рисунке 92; между фланцем патрубка расширителя и крышкой ставят уплотнительную шайбу из маслостойкой резины или пробки, закрепляют подъемную шпильку в крышке и навертывают подъемное кольцо на шпильку (рис. 93), между отверстием в крышке и шпилькой укладывают асбестовый шнур диаметром 1—3 *мм*.

5. РЕМОНТ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ (рис. 94)

Обгорание бакелитового цилиндра устраняют очисткой цилиндра от нагара с последующим покрытием очищенной поверхности бакелитовым лаком и запечкой.

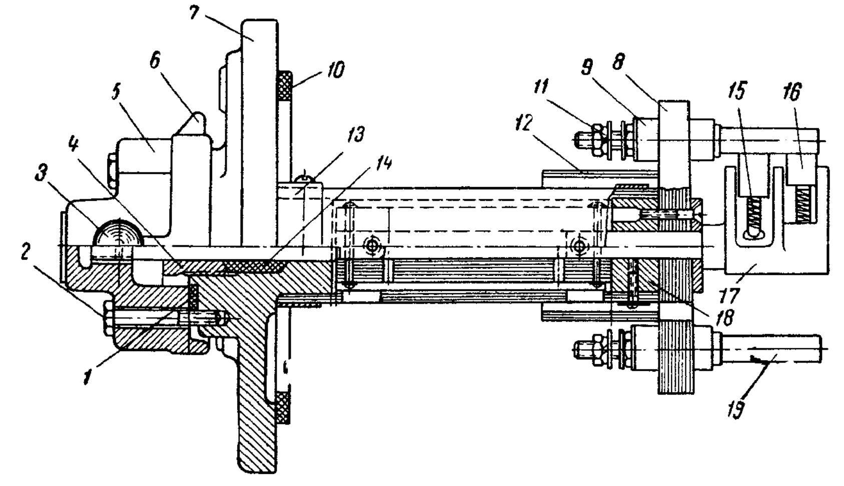


Рис. 94. Общий вид переключателя:

1 — уплотнительная шайба; *2* — болт; *3* — рукоятка колпака; *4* — гайка сальника; *5* — колпак переключателя; *6* — указатель на колпаке; *7* — крышка сальника; *8* — опорный диск; *9* — втулка бумажно-бакелитовая; *10* — уплотнительная шайба; *11* — пружинная шайба; *12* — цилиндр бумажно-бакелитовый; *13* — хомутик; *14* — набивка сальника; *15* — пружина; *16* — контактный сегмент; *17* — коленчатый вал; *18* — втулка; *19* — контактный стержень.

Нагар очищают напильником и шлифовальной шкуркой, бакелитовый лак наносят на очищенную поверхность в два слоя, после чего цилиндр помещают на 2—4 часа в печь с температурой 100—115°.

Негодную сальниковую набивку и уплотнительную шайбу заменяют. Сальниковую набивку изготовляют из асбестового шнура, диаметром 1—3 *мм*, а уплотнительную шайбу из пробкового листа толщиной 6 *мм*. Для замены сальниковой набивки и уплот-

нительной шайбы нужно отвернуть два болта крепления колпака к крышке и снять колпак со шпонки, после чего отвернуть гайку сальника. После установки сальниковой набивки гайку сальника надо завернуть так, чтобы она выступала над торцом крышки сальника на 12 *мм*. Если обнаружена течь масла через сальниковую набивку, то гайку нужно повернуть для увеличения нажима на набивку.

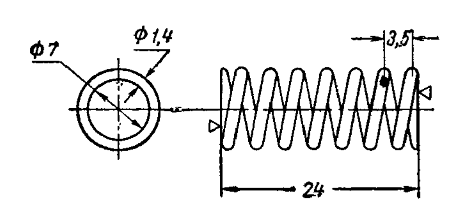


Рис. 95. Пружина сегмента (размеры в *мм*).

Трещину в крышке сальника заваривают чугунными прутками марки А6 диаметром 6 *мм* газосварочным аппаратом, горелкой с наконечником № 5, помещают в сухой песок для медленного охлаждения, а место сварки зачищают заподлицо с основной поверхностью.

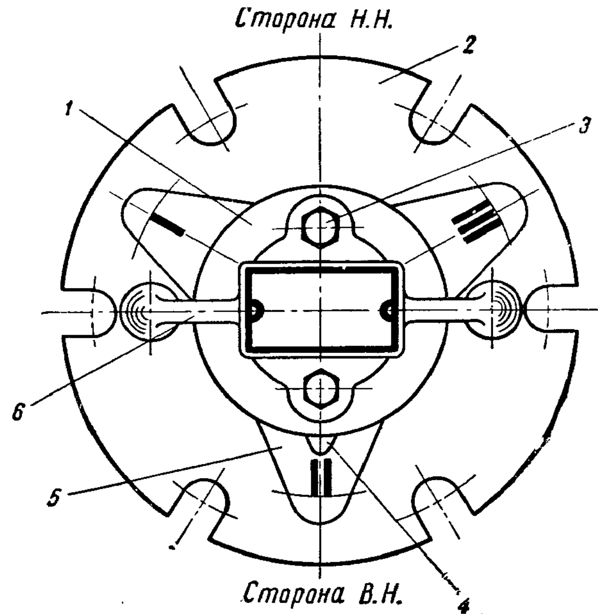


Рис. 96. Расположение колпака переключателя на крышке:

1 — колпак; *2* — крышка сальника; *3* — болт М8 × 45; *4* — указатель на колпаке; *5* — прилив на крышке сальника с цифрой, обозначающей установку контактных сегментов.

Обгорание контактных стержней устраняют зачисткой контактной поверхности шлифовальной шкуркой, а черноту стирают тряпкой, смоченной в бензине.

Ослабление пружины сегмента нарушает необходимый контакт между сегментом и стержнем, восстанавливается он заменой

пружины (рис. 95) из стальной проволоки марки ОВС ГОСТ 1546—42. Ослабленные гайки крепления контактных стержней нужно затянуть, а там, где отсутствуют пружинные шайбы, поставить их.

При регулировке стрелка привода при любом положении должна находиться против одной из цифр, указывающих положение на крышке сальника — I, II, III (рис. 96). В этом положении каждый сегмент замыкает два неподвижных контакта, например, один сегмент соприкасается с контактными стержнями x_2 и y_2, а второй — с y_2 и z_2 (рис. 97). Для перевода переключателя в новое рабочее положение отвертывают два закрепляющих болта расположенных на колпаке, повертывают его на $3 \times 40° = 120°$ и закрепляют болтами. Только при совпадении двух отверстий на колпаке с соответствующими отверстиями на крышке сальника и при одновременном положении стрелки колпака против одной из цифр — I, II и III привод устанавливается правильно по отношению к переключателю.

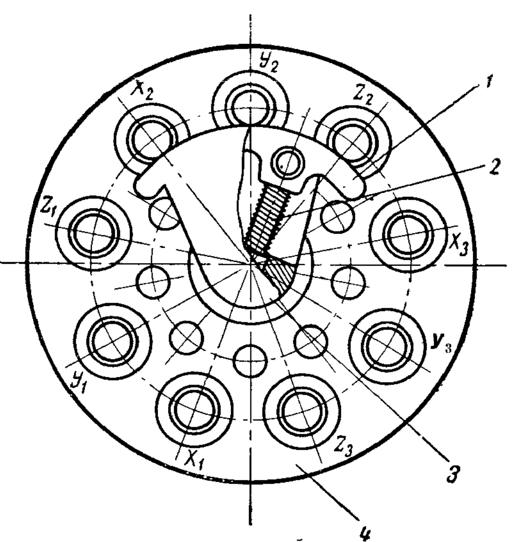


Рис. 97. Расположение сегментов по отношению к контактным стержням:

1 — контактный сегмент; 2 — пружина; 3 — коленчатый вал; 4 — опорный диск; x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2; x_3, y_3, z_3 — контактные стержни.

6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ УПЛОТНЕНИЙ

Поврежденные уплотнения вызывают просачивание или течь масла, поэтому при ремонте старые прокладки удаляют и на их место ставят новые.

Подкрышечные уплотнения изготовляют из маслостойкой резины марок С-90 и С-14, а также из полос или листов прессованной на маслостойком лаке пробковой крошки. При отсутствии этих материалов можно применять картон, асбестовый шнур, пеньковую или хлопчатобумажную веревку, клингерит и паранит.

Для изготовления прокладок из картона толщиной 1,5—2 *мм* вырезают полоски шириной 10 *мм* для трансформаторов мощностью до 100 *ква* и шириной 15 *мм* свыше 100 *ква*. После этого изготовляют деревянный шаблон по размерам прокладки под

крышку трансформатора. Вырезанные полоски накладывают одна на другую, смазывая их казеиновым клеем. Места стыков полосок должны находиться друг от друга на расстоянии 50—60 *мм* и заделываться, как показано на рисунке 98. Общая толщина прокладки должна быть: для трансформаторов мощностью до 100 *ква* 15—17 *мм*, свыше 100 *ква* — 20—23 *мм*.

Прокладку обвязывают хлопчатобумажной лентой вразгон и оставляют в таком положении до полного высыхания клея, смазывают казеиновым клеем и устанавливают на раму, которая должна быть предварительно очищена от грязи и масла и насухо вытерта.

Для приготовления казеинового клея берут 3 весовые части казеина и растворяют в 6 весовых частях чистой кипяченой или

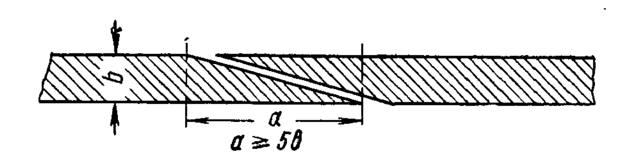


Рис. 98. Способ заделки стыков подкрышечного уплотнения.

дистиллированной воды при температуре 30—40°. После тщательного перемешивания смесь оставляют в покое на 3—4 часа, затем добавляют одну весовую часть нашатырного спирта крепостью 15—20°, перемешивают и дают отстояться один час, после чего добавляют три весовые части воды. Клей хранят при температуре +15° не более трех дней.

Для подкрышечных уплотнений применяют также асбестовый шнур диаметром 12—18 *мм*, который перед установкой на раму должен пролежать одни сутки в бакелитовом или глифталевом лаке и после этого просушен в течение 2—3 часов.

Для прокладок применяют также пеньковую или хлопчатобумажную веревку (без значительных утолщений или утоньшений). Веревка должна быть туго оплетена, суха и чиста. Перед укладкой на место веревочную прокладку выдерживают 6—8 часов в прогретой до 60—80° натуральной олифе и просушивают. Перед установкой на место прокладку из веревки промазывают бакелитовым клеем.

Для изготовления прокладок под фланцы изоляторов, патрубок расширителя, переключатель и т. д. на центральном ремонтно-механическом заводе Мосэнерго применяют приспособление, состоящее из нескольких плоских заточенных сменных ножей, расстояние между которыми регулируется прокладками в зависимости от диаметра вырезаемых прокладок. Приспособление вставляют конусным хвостовиком в шпиндель сверлильного станка.

7. АРМИРОВАНИЕ ФАРФОРОВЫХ ВЫВОДОВ

Концы трансформаторной обмотки выводят с помощью фарфоровых проходных изоляторов внутренней или наружной установки. Внешняя поверхность изоляторов с наружной стороны сильно развита — в виде юбок, которые удлиняют путь разряда без увеличения высоты изолятора. Для внутренней установки изоляторы применяют без ребер. Наружная поверхность проходных изоляторов покрыта ровным слоем блестящей глазури белого или коричневого цвета. Вывод состоит из токоведущей части (медный или стальной стержень, шина, кабель) и фарфоровой изоляции, отделяющей токоведущую часть от крышки или стенки бака трансформатора. Проходные изоляторы крепят к опорам с помощью заармированных фланцев на средней части изолятора.

Выводы с механическим креплением, изоляторы которых крепятся штампованным фланцем, надевают сверху до упора в кольцевой выступ изолятора и устанавливают в специальные отверстия трансформаторной крышки (рис. 99). Составной вывод собирают на трансформаторе без армирования и без плоских фланцев и затягивают гайками на токоведущем стержне по месту установки.

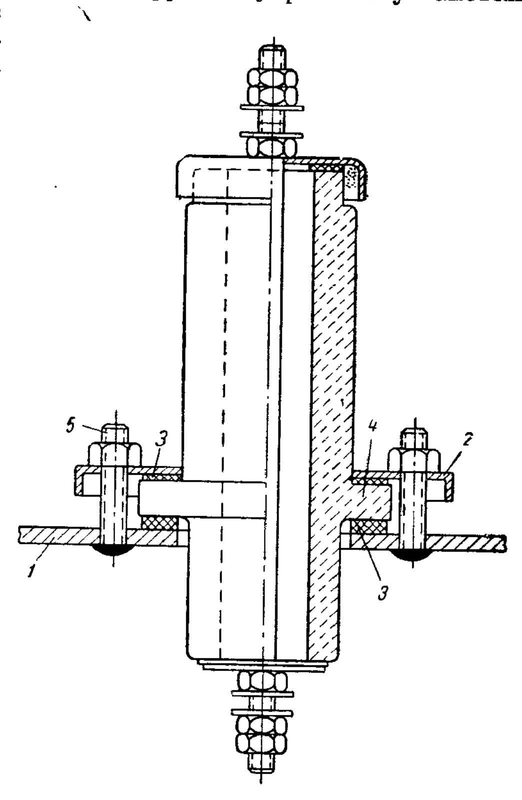


Рис. 99. Изолятор с механическим креплением:

1 — трансформаторная крышка; 2 — штампованный фланец; 3 — уплотняющая прокладка; 4 — кольцевой выступ изолятора; 5 — шпилька.

К основным дефектам выводов относят: просачивание трансформаторного масла в местах армирования (между цилиндрическим бортиком верхнего колпака, между фланцем и фарфором или в месте выхода токоведущего штыря) и повреждение фарфора, отколы ребер, трещины и сколы глазурованной поверхности.

Реже встречаются повреждения фланцев, погнутость токоведущего стержня изолятора, срыв резьбы, устранение которых

сводится к замене фланцев и стержней. Токоведущие стержни изготовляют из меди, латуни или стали в виде шпилек, у которых с двух концов нарезают резьбу, служащую контактной поверхностью. С одного конца шпильки наворачивают гайку и облуживают резьбовую поверхность оловянистым припоем ПОС-30. Луженую часть очищают металлической щеткой от излишков припоя, а резьбовую проходят плашкой с воротком, предварительно закрепив шпильку в тисках.

Новые стержни проверяют на соответствие сечения номинальному току трансформатора. При токе свыше 600 *а* верхнюю часть шпильки делают по форме плоской лопатки.

На токоведущие стержни армирующихся одноклеммных изоляторов надевают колпачок до упора в гайку и припаивают с внутренней стороны твердым припоем к гайке и стержню. При силе тока до 400 *а* надевают стальной или чугунный колпачок, при большей — латунный.

Свободная длина нарезанной части стержня (шпильки), включая длину, необходимую для гаек, контргаек и шайб, должна быть равна четырем диаметрам шпильки, считая от поверхности верхнего и нижнего торца головки изолятора. Если в месте соединения токоведущего стержня с верхним колпачком обнаружена течь масла, нужно зачистить место течи напильником и запаять, предварительно сняв с верхнего конца стержня контргайки, гайки и шайбы.

В заармированных выводах, работающих в масле, наблюдается частичное размягчение массы на глубину 10 *мм*. В таких случаях выводы армируют дополнительно, удалив из паза (между внутренней цилиндрической поверхностью фланца и фарфором, по всей окружности охвата изолятора фланцем) слой старой размягченной армировочной массы, до глубины, не затронутой действием масла, примерно на $^1/_3$ высоты фланца. Для этого изолятор закрепляют на специальном приспособлении и осторожно выкрашивают старую массу металлическим крейцмейселем в виде изогнутого шила (рис. 100). После очистки и продувки паза вместо удаленной массы дополняют свежую порцию разведенного магнезита или глето-глицерина, в зависимости от того, какой массой был заармирован изолятор. Во избежание отколов фарфора не следует снимать нижний колпачок или фланец до полного удаления магнезиальной массы.

При сколах фарфоровых граней общей площадью 1,5—2 *см*^{2} плоскости скола острые края дважды шлифуют и покрывают бакелитовым лаком. Царапины и другие повреждения поверхности фарфора на площади 3—5 *см*^{2} глубиной не более 2 *мм* покрывают бакелитовым лаком. Изоляторы с большими повреждениями восстанавливают с помощью карбинольного клея. Увлажненная поверхность шва является проводящей, поэтому при повреждениях, резко снижающих разрядные напряжения, склейка изоляторов, подверженных увлажнению, недопустима.

Карбинольным клеем можно склеивать изоляторы, разбитые поперек оси или с отколами ребер, головок, граней (между клеммами у трехклеммных изоляторов), поперечные трещины и т. п. повреждения, при которых клей не используется в качестве диэлектрика. При склеивании фарфоровых изоляторов пользуются клеем марок БФ-2 или БФ-4. Склеиваемую деталь высушивают при температуре 70—150° в течение нескольких часов. Колпачки и фланцы на фарфоре крепят с помощью магнезиальной или

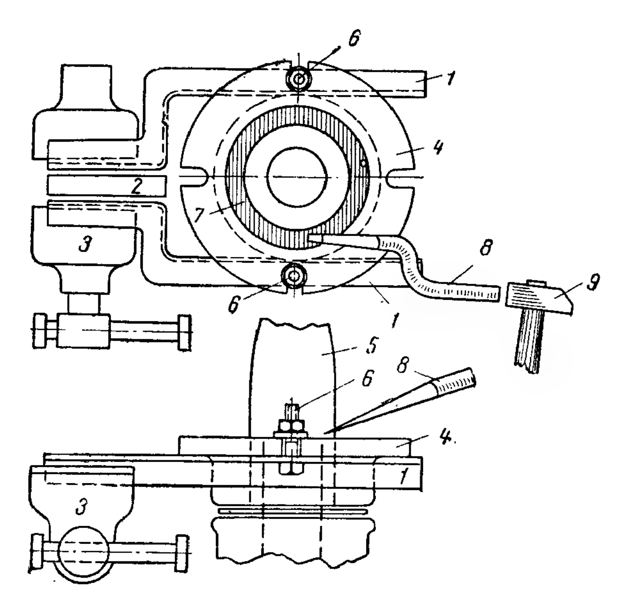


Рис. 100. Приспособление для подрубки старой армировочной замазки:

1 — ухват из уголковой стали; *2* — вкладыш для регулирования ширины ухвата; *3* — слесарные тиски; *4* — фланец ввода; *5* — ввод; *6* — болт для крепления фланца; *7*— армировочная масса; *8* — крейцмейсель; *9* — молоток.

глето-глицериновой массы. При армировании фарфорового вывода его вмазывают в металлический фланец, охватывающий рифленую поверхность средней части изолятора, благодаря чему зазор между фарфором и внутренней цилиндрической поверхностью фланца заполняется армировочной массой. Поверхность фарфора и внутренняя цилиндрическая поверхность чугунного фланца перед армированием должны быть чистыми, без следов грязи, масла, ржавчины, старой армировочной массы.

Сборку трехклеммного изолятора начинают с подготовки шпилек. На верхние концы токоведущих шпилек надевают прокладки из маслостойкой резины толщиной 4—5 *мм* до упора в гайку. Боковые грани прокладки не должны иметь разреза. Шпильки

с прокладками вставляют в фарфоровые изоляторы так, чтобы прокладка находилась с внутренней стороны изолятора. С наружной стороны (со стороны межклеммных граней) надевают на шпильку по две шайбы — одну из электрокартона, другую стальную — и затягивают гайками. С задней стороны торцовой части изолятора устанавливают кольцо из электрокартона с вырезом и заднюю фарфоровую крышку. На нижние концы токоведущих стержней надевают по две шайбы — одну электрокартонную, другую стальную — и затягивают гайками. На собранный фарфоровый вывод устанавливают металлический фланец так, чтобы между фарфором и фланцем образовалось равномерное кольцеобразное пространство, равное 4—6 *мм*. Между выступом изолятора и торцом фланца устанавливают уплотняющую прокладку из листовой пробки или маслостойкой резины в виде узкой шайбы (толщиной 5—6 *мм*), плотно прилегающей к телу фарфора и предотвращающей течь масла от просачивания через слой армировочной массы. Перед заливкой прокладку обжимают в пределах 2—3 *мм* вспомогательной металлической скобой, которая при затягивании гаек прижимает фланец к выступу изолятора (рис. 101). Выдавливание уплотнения при затягивании гаек должно быть равномерным по всей окружности вывода. Собранные выводы устанавливают вертикально в гнезда специальной деревянной подставки и армируют. Фланцы и колпачки армируют (заливают) магнезиальной или глето-глицериновой массой.

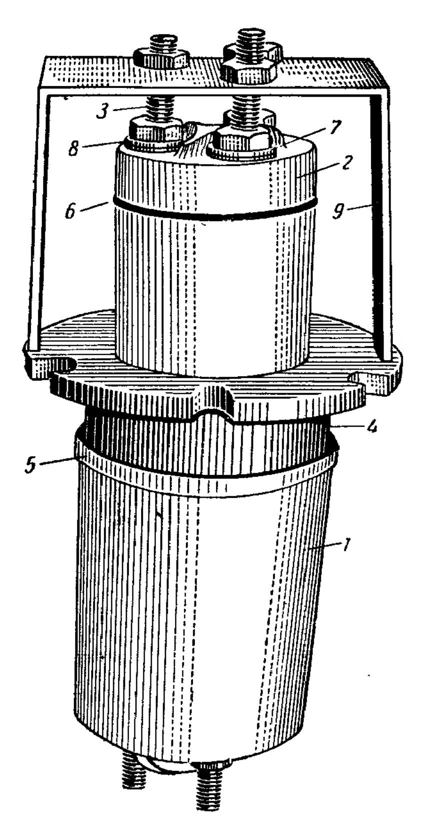


Рис. 101. Ввод, подготовленный к заливке:

1 — фарфоровый изолятор; *2* — задняя фарфоровая крышка; *3* — токоведущий стержень; *4* — фланец; *5* — уплотняющая прокладка; *6* — кольцо из электрокартона с вырезом; *7* — стальная шайба; *8* — шайба из электрокартона; *9* — металлическая скоба.

Массу приготавливают из магнезиального цемента, фарфоровой муки и раствора хлористого магния с удельным весом 1,2. Магнезиальный цемент и фарфоровую муку просеивают через густое сито с металлической решеткой. Магнезиальный цемент,

сильно поглощающий влагу, перед употреблением прокаливают в муфельной печи до температуры 750° в течение 2 часов. При составлении магнезиальной массы пользуются таблицей 46.

Таблица 46

Составление магнезиальной массы для заливки фланцев и колпачков (в г)

Материалы	1-кратная порция	5-кратная порция	10-кратная порция	15-кратная порция
Магнезиальный цемент	135	675	1350	2025
Фарфоровая мука	70	350	700	1050
Раствор хлористого магния .	165	825	1650	2475

Массу приготавливают в заливочном ковше (рис. 102). Магнезиальный цемент и фарфоровую муку тщательно перемешивают, вливают раствор хлористого магния и перемешивают состав.

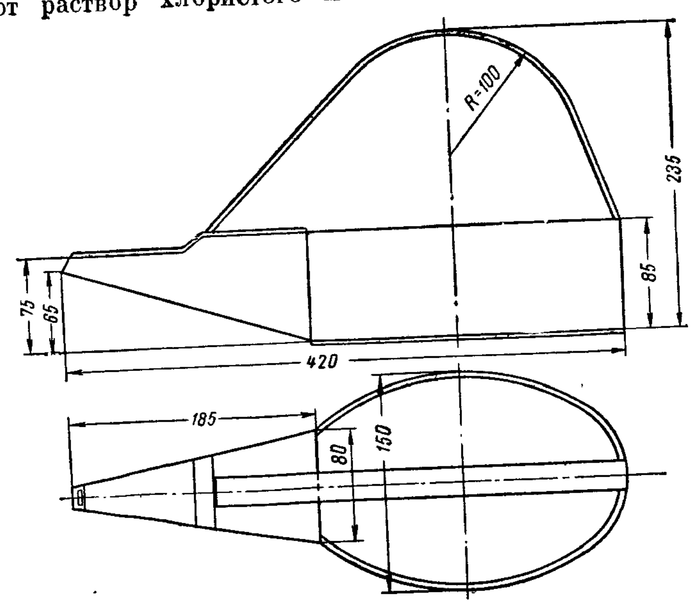


Рис. 102. Заливочный ковш (размеры в *мм*).

Количество армировочной массы приготавливают с таким расчетом, чтобы она была израсходована в течение 15—20 *мин*. Заливочный ковш перед приготовлением новой порции замазки очищают от остатков старой засохшей массы и грязи. Выводы армируют в помещении с температурой воздуха не ниже ±10° и не выше +35°. Массу не доливают до края фланца или колпачка на 1—1,5 *мм*. После заливки изолятор выдерживают до полного

схватывания массы (примерно 10 часов), очищают поверхность изолятора и фланец от потеков заливочной массы.

В процессе схватывания и затвердевания замазки нельзя поправлять изолятор во фланце или колпачке. Поверхность армирования, соприкасающуюся с трансформаторным маслом, покрывают эмалью № 1201 или № 624С. До установки и монтажа армированные выводы выдерживают 48 часов при температуре 18—25°. Нагревание горелкой или помещение вывода в сушильный шкаф для ускорения схватывания замазки не допускается.

Глето-глицериновую армировочную замазку, применяемую при срочных работах немассового характера, приготовляют из смеси трех весовых частей свинцового глета и одной весовой части глицерина. Порция глета, помещенная в посуду для приготовления заливочной массы, не должна иметь комков. При заливке глицерина глет тщательно перемешивают до получения однородной текучей массы. Для схватывания глето-глицериновой замазки достаточно 30—50 минут; заармированные выводы выдерживают 20—24 часа при температуре 18—20°.

8. РЕМОНТ И СБОРКА МАГНИТОПРОВОДА

При работе трансформатора магнитопровод нагревается, постепенно разрушая изоляцию листов. Небольшое повреждение изоляции создает новую цепь для вихревых токов, которые при своем возрастании вызывают дополнительный местный нагрев стали и ускоряют распространение повреждения. К неисправностям магнитопровода относятся: повреждение стяжных шпилек и выгорание стали на поверхности пакета.

Стержни и нижнее ярмо расшихтовывают или разбирают только при ремонте трансформаторной стали магнитопровода, разборку которого начинают с укладки на козлы высотой 75—80 *см* или прочный ровный стол, имеющий доступ со всех сторон. Перед укладкой на козлы верхние концы стержней стягивают щеками и шпильками. Под стержни магнитопровода со стороны расшихтованной части (верхнего ярма) подкладывают деревянные или металлические планки толщиной, равной толщине прессующей консоли (деревянной щеки или швеллера) и извлекают шпильки, прессующие ярмо.

Вначале освобождают одну шпильку и вынимают ее из гнезда плоскогубцами за головку. Если шпилька идет туго, необходимо, ослабив гайки на двух других шпильках, слегка подпрессовать сердечник вертикальными прессующими болтами. С извлеченной шпильки снимают изоляцию, вновь ставят в гнездо и затягивают. В такой же последовательности извлекают вторую шпильку. После освобождения третьей удаляют первые две шпильки из гнезда и снимают с ярма прессующие щеки.

При разборке магнитопровода нужно составить схему шихтовки. Для трансформаторов мощностью до 560 *ква* чаще всего

применяется схема шихтовки, показанная на рисунке 103. Далее записывают основные размеры магнитопровода (высоту и ширину окон в свету, толщину ярма стержней и отдельных пакетов), на-

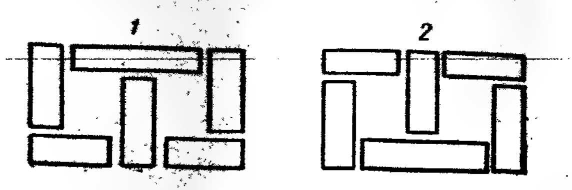


Рис. 103. Схема шихтовки трехфазного магнитопровода:

1 — первая позиция; 2 — вторая позиция.

носят метки на стяжные щеки, опорные планки и т. п. Листы стали снятые с магнитопровода, накладывают на вспомогательные шпильки-оправки, пропущенные через две деревянные или швеллерные (с картонной прокладкой) стяжные щеки (рис. 104).

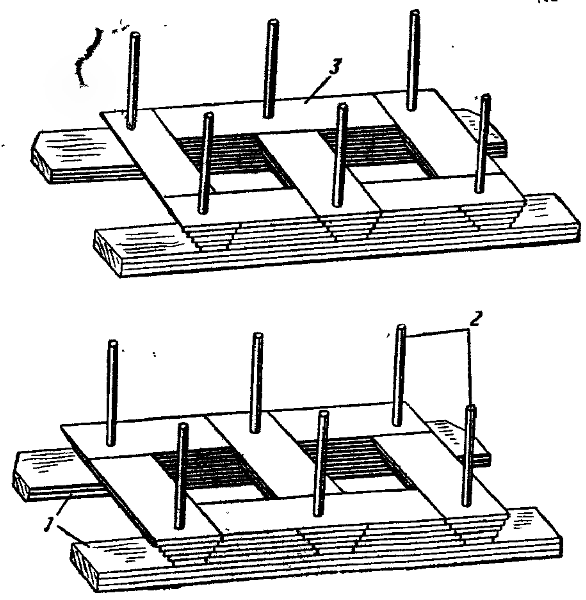


Рис. 104. Укладка стальных листов магнитопровода:

1 — прессующие консоли (щеки); 2 — стальные шпильки; 3 — каркас магнитопровода.

Чтобы не перепутать листы, их извлекают один за другим и укладывают на стеллаж или стол в таком же порядке, в каком они извлечены из ярма. Трансформаторную сталь при разборке просматривают и отбирают листы для ремонта. Повреждения листов

магнитопровода, требующих ремонта, характеризуются следующими признаками: изоляционный слой держится слабо на стали и при легком соскабливании отпадает кусками, он хрупок, легко растирается в порошок и лопается во многих местах или же отскакивает при небольшом сгибе листа, изоляция — пузырчатая, изоляция обуглилась или изменила цвет (обычно на черный).

Листы с сечением в местах повреждения (прожига) менее 60% нормального, а выжженной площадью более 10% ремонтируют; число поврежденных листов, принятых к сборке, должно быть таким, чтобы сечение стержня или ярма в месте повреждения не уменьшалось больше 2%. Вместо отбракованных листов прокладывают полоски электрокартона или бумаги с выступающими краями, на которых делают необходимые пометки. Разобранную годную часть магнитопровода, собранную на шпильках, прессуют с установкой щек, а отбракованные листы направляют в ремонт. На щеки наносят метки, указывающие сторону высшего или низшего напряжения трансформатора.

Ремонт листов поврежденного магнитопровода состоит в восстановлении межлистовой изоляции стальных листов и замене прогоревших новыми или в обработке мест прожига. Межлистовая изоляция включает в себя одностороннюю оклейку листов специальной бумагой (ГОСТ 1201—52) или двухстороннее и одностороннее покрытие специальным масляным лаком. Лаковая изоляция позволяет получить более высокий коэффициент заполнения поперечного сечения стержня (или ярма), а также, обладая большей, чем бумага, теплопроводностью, обеспечивает лучшее охлаждение трансформатора. Нагревостойкость лаковой пленки также выше нагревостойкости бумаги. При оклейке бумагой обеспечивается более совершенная и надежная электрическая изоляция между листами сердечника, стоимость такой изоляции значительно ниже покрытия лаком.

Сравнение изолировки лаковой и бумажной междулистовой изоляции в относительных единицах приведено в таблице 47.

Таблица 47

Стоимость изолировки для стали толщиной 0,5 *мм*
(в относительных единицах)

Материал	Предельно допустимая температура (в градусах)	Стоимость изолировки	
		однократная	двукратная
Лак	110	3,25	4,80
Бумага	110	1,00	Не применяется

Междулистовую лаковую изоляцию применяют в трансформаторах с мощностью на один стержень 1800 *ква* и выше, для которых вопросы обеспечения наилучшего охлаждения, а также получения наибольшего коэффициента заполнения имеют важное зна-

чение. В трансформаторах меньшей мощности применяют бумажную изоляцию.

Стальные листы перед наложением новой изоляции тщательно очищают от негодной. При восстановлении только на одном участке листа изоляцию следует соскабливать металлическим скребком, а не выжигать, растворять или отмачивать, во избежание повреждения соседних здоровых участков. Если изоляция повреждена в нескольких местах, весь лист выжигают пламенем паяльной лампы, а затем соскабливают металлической щеткой или скребком. Бумажную изоляцию можно удалить отмачиванием, для

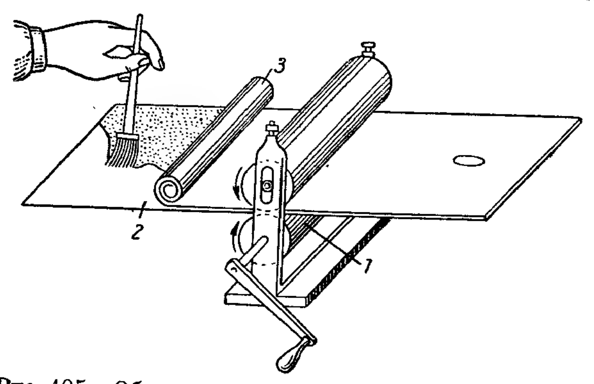


Рис. 105. Обжимные вальцы и схема склейки стального листа магнитопровода:
1 — вальцы; *2* — стальной лист; *3* — оклеечная бумага.

чего поврежденные листы опускают на 10—15 минут в кипящую воду, подсушивают и счищают бумагу скребком. Перед лакировкой листы протирают чистой тряпкой, обильно смоченной бензином или растворителем лака — ацетоном, бензолом, толуолом; перед лакировкой листы можно также выпаривать. Промытую и высушенную поверхность листа покрывают быстросохнущей эмалью № 1201 тонким слоем, без наплывов и пропусков и просушивают при комнатной температуре в течение 2—3 часов, после чего лист поворачивают обратной стороной, окрашивают или пускают в сборку.

Эмаль № 1201 можно заменить лаком № 202 и № 302 или глифталевым лаком № 1154. В этом случае окрашенные листы подвешивают вертикально с небольшими промежутками в сушильный шкаф на 1,5—2 часа при температуре 105°.

Повреждение бумажной изоляции на отдельных участках листа ремонтируют нанесением на поврежденное место слоя эмали, пользоваться бумагой нельзя, так как такая заплата вызовет местное утолщение листа. Бумагой можно изолировать весь лист, для чего насухо вытертые и просушенные стальные листы магнитопровода покрывают ровным слоем крахмального клейстера,

разведенного в кипятке (30 *г* крахмала на 1 *л* кипяченой воды), и оклеивают специальной бумагой толщиной 0,03 *мм*. Рулон оклеечной бумаги предварительно надевают на круглую металлическую ось обжимных вальцов, так, чтобы шероховатая сторона бумаги при оклейке была обращена к стальному листу (рис. 105). При оклеивании стальных листов следят, чтобы не было морщин, выпучиваний и разрывов бумаги. Затем несколько раз прокатывают лист в обжимных вальцах для плотного прилегания бумаги к стали и просушивают на воздухе или на слабом пламени газовой горелки (с неоклеенной стороны). Прочность наклейки бумаги

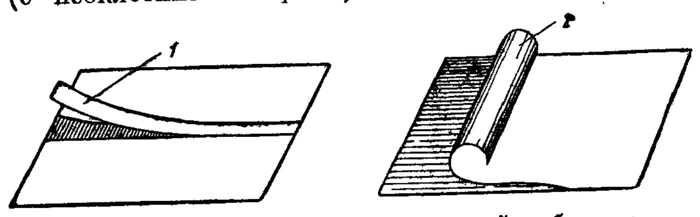


Рис. 106. Проверка прочности наклейки бумаги:
1 — хорошо оклеенный лист; *2* — плохо оклеенный лист.

проверяют после окончательной сушки; с хорошо оклеенного листа бумагу можно сорвать лишь узкой полоской длиной 100—150 *мм*, а плохо приклеенная бумага легко сходит со всего листа (рис. 106).

Изоляцию стяжных шпилек заменяют, когда сопротивление ее более чем в полтора раза снизилось против данных предыдущего испытания. При отсутствии показателей предыдущего замера пользуются данными Мосэнерго, по которым сопротивление изоляции стяжных ярмовых шпилек трансформаторов, бывших в эксплуатации ряд лет, составляет: для трансформаторов напряжением до 6 *кв* — 2 *Мома*, от 6 до 30 *кв* — 5 *Мом*. Новые трансформаторы имеют сопротивление изоляции шпилек в 5—6 раз выше приведенных.

Трубки с помятыми краями, обрывом кромок и т. д. можно вновь использовать для изоляции шпилек. Для этого годные участки, например, двух трубок вырезают и по две штуки надевают на одну шпильку. При отсутствии изоляционных трубок на шпильку наматывают кабельную бумагу толщиной 0,12 *мм*, смазанную бакелитовым лаком с последующей запечкой в течение 3—4 часов при температуре 90—95°. Толщина слоя изоляции должна составлять 2—3 *мм* при диаметре шпильки 12—25 *мм* и 4—5 *мм* при диаметре 25—50 *мм*.

Наружный диаметр изолированной шпильки должен соответствовать отверстию в магнитопроводе. Во избежание саморазмотки при сушке на бумагу накладывают бандаж из киперной ленты или шпагата вразгон. После запечки бандаж удаляют. Размер изолированной части шпильки или трубки должен быть

на 2—3 *мм* меньше размера ярма (с учетом толщины консолей), чтобы при затяжке гаек изоляция не сминалась, а зазор между торцом изоляции шпильки и изоляционной шайбой был одинаков. Стальные шпильки, прессующие ярмо магнитопровода, должны быть изолированы от активной стали магнитопровода и металлических стяжных гаек (рис. 107).

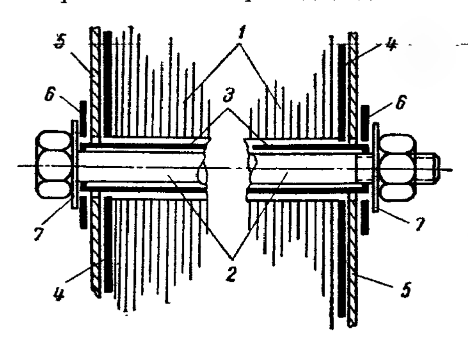
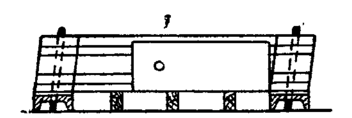


Рис. 107. Изолирование стальной шпильки от стали магнитопровода:

1 — стальной стержень магнитопровода; 2 — стальная шпилька для прессовки магнитопровода; 3 — изоляция стяжной шпильки; 4 — изоляция консоли; 5 — консоль; 6 — изоляционная шайба; 7 — металлическая шайба.

Изоляционные шайбы изготавливают из толстого электротехнического картона марки ЭМ толщиной не менее 2 *мм*. Внешний диаметр изолирующей шайбы должен быть на 3—5 *мм* больше внешнего диаметра нажимной шайбы. Изоляция шпильки должна иметь значительную механическую прочность и теплостойкость, так как рабочая температура внутри магнитопровода доходит до 105°.

После ремонта магнитопровод шихтуют, начиная с крайнего пакета любой из сторон магнитопровода (одновременно по всей длине ярма) или со среднего пакета, в зависимости от того, какой метод расшихтовки ярма был использован. Для правильной уста-



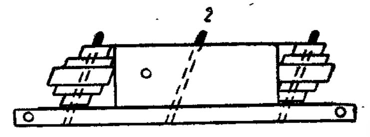


Рис. 108. Проверка перекосов магнитопровода:

1 — от сдвига пакетов по длине (сбоку); 2 — от сдвига пакетов по ширине (с торца).

новки (положение совпадения листов в стыках) определяют стальной линейкой место стыка, а затем укладывают лист так, чтобы стальные листы магнитопровода перекрывали стыки предыдущего слоя.

После укладки каждого пакета листы выравнивают и подбивают деревянным молотком (киянкой), чтобы в местах стыка отсутствовали зазоры, а расстояния по диагонали магнитопровода были одинаковы. Магнитопровод не должен перекашиваться от сдвига пакетов по длине и ширине; для этого во время сборки прикладывают несколько раз к торцам и бокам магнитопровода стальной, широкий, длинный лист магнитопровода (рис. 108). Для

устранения перекоса по вертикали листы осторожно подбивают деревянным молотком при расслабленных стяжных шпильках, следя за тем, чтобы не загнуть края листов и не вызвать их замыкание при работе трансформатора.

Отклонение крайнего пакета от оси магнитопровода при вертикальном перекосе допускается в пределах 2 *мм*. Если магнитопровод перекошен по диагонали, то во всех местах стыка листов стали неизбежны зазоры, величина которых зависит от величины перекоса. Для устранения перекоса нужно разобрать магнитопровод; допустимая величина зазоров во всех стыках составляет 0,3 *мм* (рис. 109).

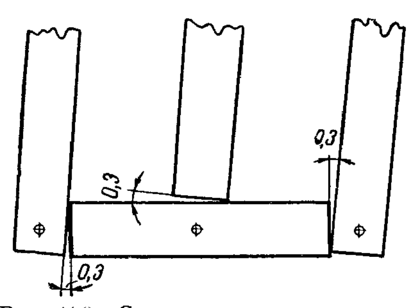


Рис. 109. Схема перекоса магнитопровода по диагонали.

Перекосы магнитопровода устраняют подбивкой выступающих листов киянкой. К собранному магнитопроводу привертывают опорные деревянные бруски и устанавливают его в вертикальное положение, прессующие шпильки затягивают до отказа, иначе при подъеме получится перекос магнитопровода. Толщина и размеры спрессованного магнитопровода должны соответствовать толщине и размерам, записанным перед разборкой.

Вместо одного пропущенного листа в средней наиболее широкой ступени пакета нужно доложить два-три листа в крайние (наиболее узкие) ступени пакета. В исключительных случаях допускается уменьшение толщины магнитопровода за счет сокращения числа стальных листов: для трансформаторов до 50 *ква* — 1 *мм*, до 560 *ква* — 2 *мм*.

9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

Схемы и группы соединения обмоток. Для правильного соединения схемы обмоток определяют направление намотки: при направлении витка от выводного конца по часовой стрелке обмотка называется правой, против часовой стрелки — левой.

В трехфазных трансформаторах применяются схемы соединений обмоток со следующими условными обозначениями: соединение звездой — Y; соединение треугольником — △ и вывод нулевой точки — Z. На рисунке 110 даны схемы соединения обмоток, диаграммы векторов напряжения, условные обозначения (ГОСТ 401—41).

Соединение звездой применяется преимущественно в высоковольтных обмотках, так как напряжение, на которое рассчитывается обмотка, будет в $\sqrt{3}$ раза меньше линейного, что облегчает изоляцию и удешевляет конструкцию. В трансформаторах пер-

вого и второго габарита соединение звездой применяется и в низковольтных обмотках (до 400 *в*). Соединение треугольником применяют в тех случаях, когда по условиям эксплуатации не требуется нулевого вывода (фазового напряжения), а также в обмотках на большие силы тока.

Соединение обмотки на стороне высшего напряжения треугольником утяжеляет условия работы изоляции и ведет к увели-

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	
A B C X Y Z	0 a b c x y z	B A C	b a c	Y/Y_0-12
A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b c a	Y/Δ-11
A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b a c	Y/Y-12
0 A B C X Y Z	a b c x y z	B A C	b c a	Y_0/Δ-11

Рис. 110. Схемы соединения обмоток, диаграммы векторов напряжения, условные обозначения.

чению меди. В обмотках трехфазных трансформаторов с регулировочными ответвлениями изменение числа включенных витков осуществляют по схеме, указанной на рисунке 111 или 112.

Для многослойной цилиндрической обмотки применяют схему с тремя ответвлениями на фазу (см. рис. 111). Для многослойных катушечных, а также непрерывных и дисковых обмоток применяют обе схемы.

По первой схеме переключение состоит в образовании нулевой точки звезды соединением между собой зажимов: $X_1—Y_1—Z_1$ (ступень +5%) или $X_2 — Y_2 — Z_2$ (номинальная ступень напря-

жения) или X_3 — Y_3 — Z_3 (ступень — 5%). При прямой схеме (рис. 112) с четырьмя ответвлениями на фазу соединение зажимов A_2 — A_3, B_2 — B_3 и C_2 — C_3 дает ступень + 5%, соединение A_3 — A_4, B_3 — B_4 и C_3 — C_4 дает номинальную ступень напряжения, а A_4 — A_5, B_4 — B_5 и C_4 — C_5 — ступень — 5%.

Сочетание схем соединения обмоток высшего и низшего напряжений определяет группу соединения. Цифры 11 и 12, стоящие при условных обозначениях схем, указывают на угловое смещение векторов вторичного линейного напряжения относительно первичного или определяют группу, к которой принадлежит трансформатор, знак 0 — нуль показывает, что при данном соединении обмоток нулевая точка имеет вывод.

Если угловое смещение, обозначенное числом 11 и 12, умножить на 30° (угловое смещение, принятое за единицу), то это даст угол смещения в градусах; число 11 указывает на угловое смещение в 330°, а число 12 — на угловое смещение в 360° (0°).

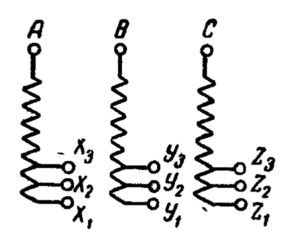


Рис. 111. Схема обмотки с регулировочными ответвлениями близ нулевой точки.

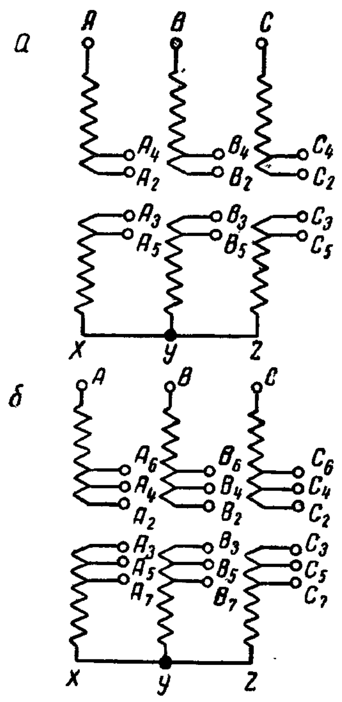


Рис. 112. Прямая схема обмотки с регулировочными ответвлениями посредине обмотки:

а — четыре ответвления на фазу; *б* — шесть ответвлений на фазу.

Группы соединения обмоток Y/Y — 12 и Y/Δ — 11 используют в понизительных и повысительных трансформаторах на сельских электрических установках. Группу соединений Y/Y—12 применяют во всех трансформаторах напряжением 6—10/0,4 *кв*, а группу Y/Δ — 11 — в трансформаторах 10/6 *кв* мощностью до 560 *ква*.

Изготовление цилиндрической слоевой обмотки. Обмотки наматывают из провода прямоугольного и круглого сечения; прямоугольный провод наматывают плашмя или на ребро. Из про-

вода прямоугольного сечения делают однослойные и двухслойные обмотки (рис. 113), а из провода круглого сечения многослойные. Для обмоток применяют специальные цилиндрические шаблоны из сухого прочного дерева (бук, дуб, береза). Диаметр шаблона должен быть равен внутреннему диаметру катушки, высоту его определяют общей высотой обмотки:

$$l = h_в \cdot n + h_в = h_в(n + 1),$$

где l — общая высота обмотки;
$h_в$ — высота одного витка;
n — число витков.

Для облегчения вытаскивания шаблона из катушки его разрезают на две половины под некоторым углом к осевой линии и соединяют стальными шпильками. Собранный шаблон устанавливают в центрах обмоточного или токарного станка и обвертывают тонким электрокартоном в один слой для предохранения изоляции обмотки от повреждения. Перед началом намотки бухты с проводом устанавливают на конусную вертушку, а барабаны с проводом — на ось, закрепленную на козлах. Отвод провода от барабана или бухты выравнивают, пропускают между деревянными плашками зажимного приспособления, загибают конец специальным приспособлением (рис. 114) или в тисках под углом 90° и крепят на шаблоне металлической скобой.

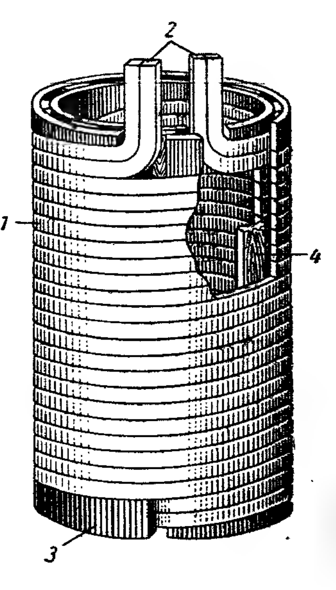


Рис. 113. Цилиндрическая слоевая обмотка:

1 — обмотка из провода прямоугольного сечения; 2 — отводы обмотки; 3 — выравнивающий клин; 4 — дистанционная рейка.

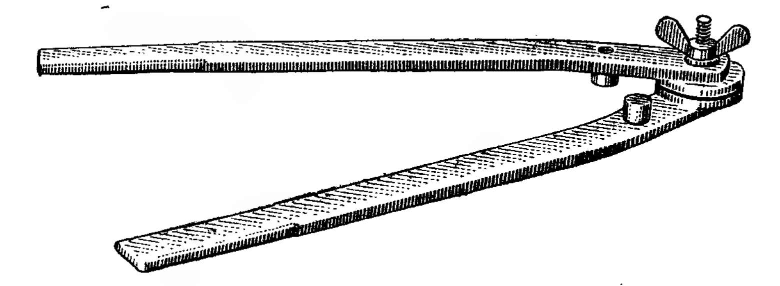


Рис. 114. Приспособление для загибки выводных концов катушек.

Для выравнивания торцовой поверхности катушки крепят к верхнему и нижнему виткам каждого слоя выравнивающие бумажно-бакелитовые или из электрокартона марки ЭМ клинья

(рис. 115). Толщину клина берут равной толщине провода, длину окружности обмотки уменьшают на размер ширины провода, высоту принимают равной ширине провода.

Клинья крепят к проводу тафтяной или киперной лентой, пропуская ее петлей в виде восьмерки между клином и первым или последним витком катушки. Первый клин монтируют после закрепления загнутого конца (начало обмотки) на шаблоне и регулирования натяжения обмоточного провода зажимным приспособлением. Широкий конец клина направляют в сторону длинного

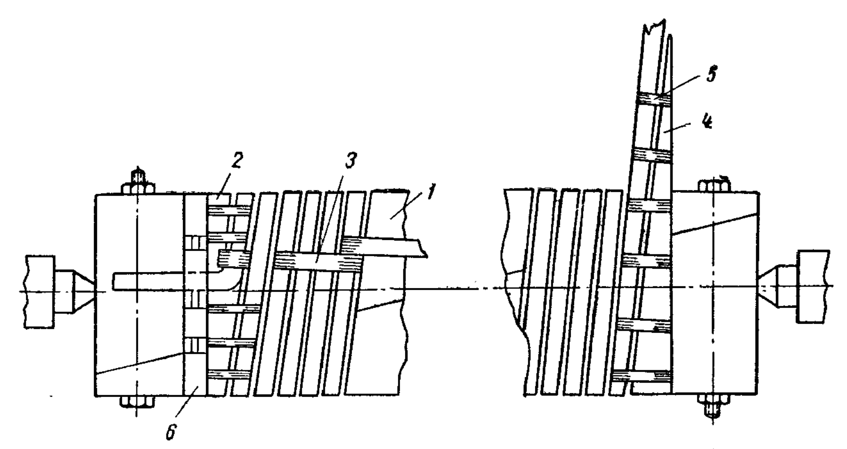


Рис. 115. Схема укладки первого и последнего витков обмотки:

1 — шаблон; 2 — уравнительный поясок первого витка; 3 — затяжная петля первого витка; 4 — уравнительный поясок последнего витка; 5 — бандаж уравнительного пояска последнего витка; 6 — место наложения хомута.

конца провода. Одновременно на отвод и первый виток накладывают петлевые стяжки из киперной ленты, сдвоенные концы которой пропускают между первыми 3—4 витками, после чего затягивают отвод и первый виток.

Обмотку наматывают при натяжении провода, обеспечивающем плотное прилегание провода к шаблону. Старую прямоугольную медь со снятой негодной изоляцией после рихтовки, но перед намоткой на шаблон изолируют в полуперекрышку миткалевой или тафтяной лентой. Каждый виток укладывают вплотную к предыдущему витку, для чего во время намотки их подбивают киянкой через фибровую прокладку. При укладке последнего витка первого слоя обмотки измеряют место перехода витка во второй слой и к последнему витку крепят уравнительный клин. В месте пересечения витков первого и второго слоя укладывают электрокартонную полоску шириной на 4—5 *мм* больше ширины витка. В процессе намотки голые места провода изолируют миткалевой или тафтяной лентой. Отдельные слои изолируют друг от друга прокладкой из кабельной бумаги толщиной 0,12 *мм* или разделяют каналами посредством изоляционных клиньев, обеспечиваю-

щими нормальное охлаждение каждого слоя обмотки, омывая их маслом.

Двухслойные цилиндрические обмотки из прямоугольного провода трансформаторов 1 и 2 габаритов выполняют с вертикальными масляными каналами между слоями. Каналы образуются при помощи реек (планок) из белого бука шириной 15 *мм*, которые укладывают при намотке катушек по образующим цилиндра и плотно прижимают проводом. Радиальная ширина канала зависит от его высоты (табл. 48).

Таблица 48

Зависимость радиальной ширины канала от его высоты (в *мм*)

Высота канала . .	До 300	301—350	351—400	401—450	451—500	501—600
Ширина канала .	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0

Для придания необходимой механической прочности, особенно у крайних концевых витков, обмотку укрепляют вразгон киперной или тафтяной лентой, после чего проверяют, пропитывают и сушат.

Намотка цилиндрической обмотки круглым проводом. Обмотку из круглой меди (обычно многослойную) наматывают на бакелитовый цилиндр сразу для всей фазы (рис. 116). При намотке на цилиндр (гильзу) из электрокартона, кроме постоянных дистанционных реек, укладывают такое же число временных, промежуточных реек с толщиной на 0,5 *мм* меньше основных, чередуя их укладку с основными рейками. Намотку начинают с приготовления необходимого изоляционного материала, проверки меди по расчетной записке и установки бакелитового цилиндра между двумя металлическими планшайбами специального намоточного станка.

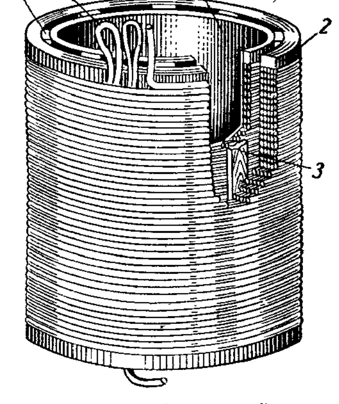


Рис. 116. Многослойная цилиндрическая обмотка из круглого провода:

1 — бакелитовый цилиндр; *2* — выравнивающий клин; *3* — дистанционная рейка; *4* — отводы из собственной меди.

Для выравнивания высоты слоя обмотки и создания твердой опорной поверхности к первому слою прикрепляют нижний бортик, т. е. свернутую в кольцо полоску из электрокартона толщиной, равной толщине слоя (рис. 117). Бортики предварительно приклеивают к более широкой (4,0—5,0 *см*) полоске телефонной бумаги толщиной 0,05 *мм*, а затем устанавливают, прижимая их

для лучшего закрепления начальными витками наматываемого слоя. При намотке витки катушки уплотняют в осевом направлении киянкой с помощью фибрового клина. Не доходя 2—3 витка до конца намотки первого слоя, устанавливают верхний разрезной бортик. При переходе к намотке второго слоя на поверхность витков первого слоя накладывают цилиндр из нескольких слоев кабельной бумаги толщиной по 0,12 *мм*. Для увеличения поверхности охлаждения слои обмотки разбивают на 2 группы и разделяют вертикальным масляным каналом, который располагают ближе к цилиндру, на расстоянии $^1/_3$ толщины обмотки, так как охлаждение внутренней группы слоев, намотанных на цилиндре, менее интенсивно, чем группы наружных.

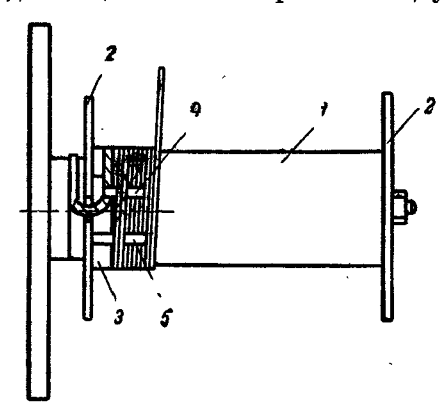


Рис. 117. Намотка первого слоя катушки:

1 — бакелитовый цилиндр; *2* — планшайбы; *3* — разрезное кольцо (бортик); *4* — петля из тафтяной ленты для крепления первого витка; *5* — петля из тафтяной ленты для крепления разрезного кольца.

Регулировочные отводы наматывают из верхних слоев катушки. При проводе диаметром до 1 *мм* отвод делают из ленточной меди сечением в полтора-два раза больше сечения провода; при диаметре свыше 1 *мм* отводы выполняют петлей из собственной меди (рис. 118). Петлю выводят к верхней торцовой части катушки и укладывают под верхний слой витков по образующей или под хлопчатобумажную киперную ленту, которой изолируют обмотку по наружной цилиндрической поверхности для повышения механической прочности. Затем катушку проверяют, сушат и пропитывают.

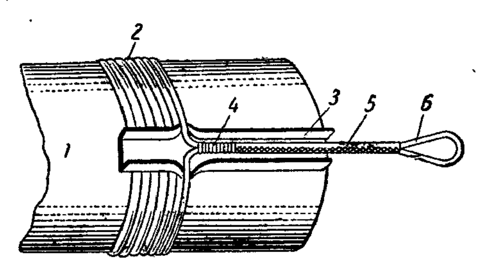


Рис. 118. Отвод петлей из собственной меди:

1 — шаблон; *2* — витки обмотки; *3* — электрокартонная коробочка, закрываемая электрокартонной полоской; *4* — бандаж петлей; *5* — трубка из лакоткани; *6* — конец петли.

Изготовление катушечной секционной обмотки. Обмотку для высшего напряжения выполняют из одного круглого провода без параллельных проводов. Катушки наматывают на общий жесткий цилиндр для трансформаторов мощностью до 135 *ква*. В трансформаторах большей мощности их наматывают на деревянный шаблон или бакелитовые кольца, предназначенные для придания

катушкам большой механической прочности. Секционную обмотку выполняют в виде одинарных или двойных, комплектно изготовленных и последовательно соединенных катушек правой и левой намотки, из которых в осевом направлении на стержне магнитопровода составляются фазовые обмотки. Число катушек (секций) выбирают так, чтобы максимальное напряжение между витками смежных секций не превышало 1500 *в*, а число слоев в секции таким, чтобы максимальное напряжение между витками смежных слоев не превышало 200 *в*.

При сборке секций между каждой катушкой устанавливают по высоте шайбы из электрокартона толщиной 1 *мм* и наружным диаметром на 8—10 *мм* больше наружного диаметра катушки для того, чтобы удлинить путь возможного разряда по поверхности между ними или устанавливают дистанционные прокладки с масляными горизонтальными каналами между секциями.

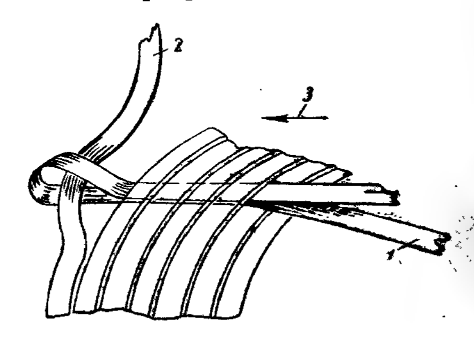


Рис. 119. Заводка затяжной петли:

1 — затяжная петля; *2* — отвод; *3* — направление укладки провода.

Для предотвращения смещения в канал крайних витков каждого слоя обмотки их обертывают телефонной бумагой.

Для опрессовки обмотки ширина колец должна быть на 1 *мм* меньше ширины секции.

Обмотки наматывают слоями, между которыми прокладывают кабельную (0,12—0,17 *мм*) или телефонную (0,05 *мм*) бумагу. Переходы из одного слоя в другой должны отставать приблизительно на $^1/_8$ окружности. Витки укладывают плотно, для чего применяют деревянную или фибровую оправку. Последний виток катушки крепят в одном или двух местах по окружности полоской кабельной бумаги или хлопчатобумажной ленты. Концы ленты, охватывающие провод, зажимаются соседними, ранее уложенными витками (рис. 119).

Крайние витки катушек, наматываемых на шаблон или на бакелитовые кольца, крепят в шести местах по окружности обмотки таким же способом с помощью полосок кабельной бумаги.

После намотки катушку стягивают в шести местах тафтяной лентой, куски которой укладывают по поверхности шаблона при намотке первого слоя катушки. Регулировочные отводы обмотки выполняют медными лужеными полосками с сечением, несколько превышающим сечение обмоточного провода. Отводы из внутреннего слоя на поверхность катушек выводят между двумя изоляционными шайбами.

Изготовленную катушку плотно укрепляют вразбежку тафтяной или киперной лентой, проверяют правильность направления намотки, диаметр катушки, число слоев, а затем пропитывают и сушат.

10. СБОРКА ТРАНСФОРМАТОРА

Сборку начинают с выемной части. Для удобства насадки обмоток магнитопровод устанавливают на стеллажи, деревянные подставки или на пол в зависимости от размера трансформатора. Во всех случаях верхнее ярмо магнитопровода должно находиться

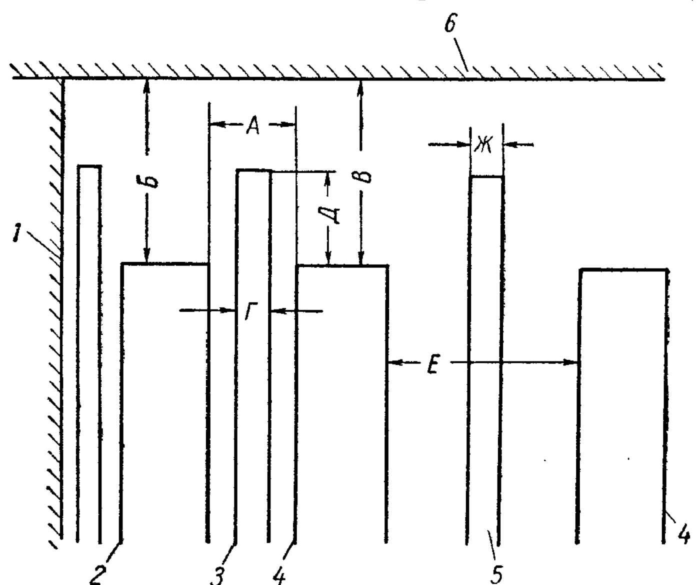


Рис. 120. Размеры главной изоляции и изоляционные расстояния:

1 — стержень; 2 — обмотка НН; 3 — цилиндр; 4 — обмотка ВН; 5 — межфазоная перегородка; 6 — ярмо.

на уровне пояса сборщика. Для насадки обмоток верхнее ярмо магнитопровода должно быть расшихтовано. Чтобы при насадке не повредить изоляцию катушек об острые углы листов, верхние концы стержней магнитопровода связывают хлопчатобумажной лентой или тонкой проволокой, пропущенной через верхние отверстия для стяжных шпилей.

Торцы обмоток изолируют от ярма с помощью ярмовой изоляции (коробочки), которую вырезают иэ электрокартона толщиной около 2 *мм*. Углы ярма изолируют краями коробочки, свисающими на обе стороны ярма. Торцы обмоток можно также изолиро-

вать круглыми картонными шайбами толщиной 2—3 *мм*. Шайбы имеют с одной или с обеих сторон картонные пластинки, которые увеличивают расстояние между обмоткой и сталью ярма и создают между ними масляные каналы. Для изоляции обмоток накладывают на металлические ярмовые балки деревянные бруски.

Стержни изолируют листами электрокартона толщиной 1 *мм*, которые от руки сворачивают в цилиндр, надевают на стержни и туго обвязывают киперной или тафтяной лентой. Электрокартон сгибают вдоль волокон, иначе на листах могут образоваться углы и трещины. Если обмотки низшего напряжения намотаны на бакелитовые цилиндры, то стержни магнитопровода не изолируют. При насадке обмоток должны быть выдержаны минимальные изоляционные размеры главной изоляции, приведенные в таблице 49 (рис. 120).

Таблица 49

Минимальные изоляционные размеры главной изоляции (в *мм*)

Характеристика размеров	Номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора (в *кв*)		
	3	6	10
Расстояние *А* между обмоткой низшего и обмоткой высшего напряжения, включая изоляционный цилиндр между ними . . .	8,5	8,5	12
Расстояние *Б* от торца обмотки низшего напряжения до стали ярма	12,5	12,5	30
Расстояние *В* от торца обмотки высшего напряжения до стали ярма	20	20	30
Толщина *Г* цилиндра между обмотками из картона или бумажно-бакелитового	2,5	2,5	3,0
Выступ *Д* цилиндра за обмотку высшего напряжения	10	10	16
Расстояние *Е* между обмотками высшего напряжения разных фаз	10	10	14
Толщина *Ж* междуфазовой перегородки . . .	2	2	2

Примечания 1. Расстояния *Б* и *В* одинаковы, размер *Б* может быть меньше размера *В* в трансформаторах мощностью до 100 *ква*. 2. При цилиндрической слоевой обмотке высшего напряжении с присоединением к линейному вводу внутреннего слоя и при соединении обмоток в звезду расстояние между фазами *Е* может быть уменьшено на 30%. 3. Перегородку между фазами не ставят, если расстояние *Е* равно или больше значений, указанных в таблице 50.

Отводы катушек низшего напряжения должны быть на стороне заземления магнитопровода. Если заземление устанавливают на верхнем ярме (при деревянных щеках) и на щеках нет специальных отверстий для крепления отводов, определяющих сторону низшего или высшего напряжения, то концы обмоток низшего

напряжения могут находиться на любой стороне магнитопровода. Насадка катушек должна быть плотной и производиться от руки, без применения молотка. Для облегчения насадки нужно натереть стеарином картонный цилиндр на стержне магнитопровода и внутреннюю полость катушки или сменить электрокартонные листы, которыми обвернуты стержни, на более тонкие. Катушки с тугой насадкой можно монтировать с помощью двух деревянных брусков длиной 1,5—2,0 *м*. При слабой насадке стержни магнитопровода изолируют более толстым картоном.

Таблица 50

Расстояния между обмотками высшего напряжения в свету

Класс изоляции обмоток высшего напряжения (в *кв*)	Расстояние (в *мм*) между фазами при мощности трансформатора (в *ква*)	
	5—100	135—560
3	15	17
6	15	17
10	18	20

Обмотки, насаженные на стержни магнитопровода, расклинивают деревянными круглыми стержнями и деревянными клиньями. Натертые парафином клинья вставляют от руки на свои места (рис. 121) на глубину 50—60 *мм* и забивают молотком сначала стержни, а затем клинья. Если клин или стержень идет слабо, нужно установить дополнительное уплотнение в виде картонной полосы, длина которой равна высоте обмотки.

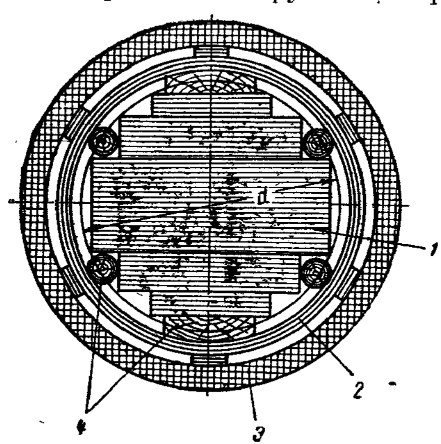


Рис. 121. Схема размещения прессующих клиньев:

1 — стержень магнитопровода· *2* — обмотка низшего напряжения; *3* — обмотка высокого напряжения; *4* — клин и стержень.

Сломавшийся клин или стержень заменяют новым. Концы установленных на стержни обмоток низшего напряжения изолируют полосками из тонкого картона и хлопчатобумажной лентой и изгибают так, чтобы они не мешали насадке обмоток высшего напряжения. По окружности обмотки низшего напряжения устанавливают по образующим цилиндра на одинаковом расстоянии один от другого деревянные и склеенные из картона планки, которые закрепляют хлопчатобумажной лентой и насаживают высоковольтную катушку.

Обмотки изолируют от ярма в верхней и нижней части шайбами из электрокартона с наклеенными прокладками. Шихтовку начинают с крайнего пакета любой стороны магнитопровода (одновременно по всей длине ярма) или со среднего пакета в зависимости от того, какой метод расшихтовки ярма был использован. Для правильной установки (положение совпадения листов в стыках) определяют при помощи стальной линейки место стыка, а затем укладывают лист. После шихтовки магнитопровода вдоль боковых поверхностей ярма устанавливают верхние ярмовые балки; каждую стальную балку отделяют от крайней пластины ярма листом электрокартона марки ЭМ толщиной 1,5 *мм*. Прессовка обмоток считается законченной, когда верхний край ярмовой изоляции опустится ниже краев коротких листов стержней. Затем ударами молотка через фибровую или деревянную прокладку осаживают ярмовую сталь до совпадения отверстий под стяжные шпильки у всех листов, вставляют шпильки с изоляцией и прессуют ярмо. Перед окончательной затяжкой прессующих шпилек заземляют с кожухом (баком) трансформатора активную сталь и крепление магнитопровода. У трансформаторов со стальными ярмовыми балками заземляющую ленту устанавливают в верхней части. После этого приступают к изготовлению и сборке отводов обмоток трансформатора. Отводы высшего напряжения изготовляют из красной меди круглого сечения и закладывают в прессбаковые изоляционные трубки.

Для напряжения до 10 *кв* включительно достаточна толщина трубки в 2 *мм* на сторону. Отводы низшего напряжения, если позволяет сечение провода, закладывают в прессбаковые трубки, а также изолируют полосками тонкого картона ЭМТ и лентой на всей длине или только в местах прохода около металлических частей, либо в местах крепления. Неизолированную поверхность отводов покрывают бакелитовым лаком для предохранения от окисления.

Отводы катушек *В. Н.*, выполненные из провода диаметром больше 1 *мм*, присоединяют к контакту ввода без напайки проводников, а при диаметре провода меньше 1 *мм* для отвода берут медь диаметром 2—3 *мм*. В остальных случаях отводы присоединяют к концам обмоток из специальных проводов, сечение которых подбирают по таблице 52.

Допустимый ток в круглых отводах, работающих в масле и заключенных в прессбаковые трубки, указан в таблице 51.

До присоединения к катушке один из концов отводов зачищают, облуживают, сгибают в кольцо необходимого диаметра, а для увеличения контактной поверхности кольцо несколько расплющивают. К проводнику (отводу) сечением больше 25 *мм*^{2} припаивают контактную пластину (рис. 122). Отводы присоединяют к выводам на крышке, выгибают петлей около кольца или снабжают упругой, согнутой Г-образно контактной пластиной из полосок луженой меди с овальным отверстием для шпильки.

Сечение нулевого отвода берут равным 25% сечения фазового отвода. Отводы пропускают в прессбаковые трубки и прижимают к стяжным щекам магнитопровода деревянными планками. Трубки с регулировочными отводами одной фазы должны быть разной длины. После этого производят соединение и спайку отводов с концами обмоток оловянисто-свинцовым или фосфористо-медным припоем (рис. 123).

Таблица 51

Допустимый ток в круглых отводах, заключенных в прессбаковые трубки и работающих в масле

Провод		Трубка	Толщина трубки на сторону	
			2 *мм*	4 *мм*
диаметр (в *мм*)	сечение (в *мм*)	внутренний диаметр (в *мм*)	допустимый ток (в *а*)	допустимый ток (в *а*)
2,44	4,68	6	22,5	22,5
3,05	7,3	6	35	35
4,1	13,2	6	63,5	63,5
4,7	17,3	6	83	83
5,5	23,8	8	114,5	106
6,4	32,2	8	147	131
7,4	43,0	10	172	155
8,6	58,1	10	221	195
10	78,5	12	265	234
12,5	122,7	14	360	315

Таблица 52

Допустимый ток в голых отводах, работающих в масле

Максимальная величина тока (в *а*)	Размеры меди ∅ или *а* × *б* (в *мм*)	Сечение меди (в *мм*²)	Плотность тока (в *а*/*мм*²)	Вес погонного метра (в *кг*)
22,5	∅ 2,44	4,68	4,8	0,042
35,0	∅ 3,05	7,3	4,8	0,065
63,5	∅ 4,1	13,2	4,8	0,118
83,0	∅ 4,7	17,3	4,8	0,154
115	∅ 5,5	23,8	4,8	0,212
155	∅ 6,4	32,2	4,8	0,287
206	∅ 7,4	48,0	4,8	0,383
265	∅ 8,6	58,1	4,55	0,517
334	∅ 10,0	78,5	4,25	0,698
462	∅ 12,5	122,7	3,77	1,09
408	2,83 × 30	85	4,8	0,756
528	4,4 × 25	110	4,8	0,98
634	4,4 × 30	132	4,8	1,18
845	4,4 × 40	176	4,8	1,57
960	5,0 × 40	200	4,8	1,78
1260	4,4 × 60	264	4,8	2,35
1440	5,0 × 60	300	4,8	2,67
1920	5,0 × 80	400	4,8	3,56

Швы и ответвления, прилегающие к месту пайки, обкладывают слоем мокрого асбеста. При соединении отводов сваркой деревянные детали и ближайшую часть обмотки закрывают листовым асбестом. Места соединения изолируют двумя слоями хлопчатобумажной ленты. После сборки выемной части проверяют мегомметром изоляцию стяжных шпилек, сопротивление изоляции обмоток низшего и высшего напряжений между собой и относительно стали сердечника, а также проверяют обмотки на отсутствие обрыва.

Перед опусканием выемной части в кожух на его борт укладывают подкрышечное уплотнение и осматривают внутреннюю его поверхность, которая должна быть чистой и окрашенной. Сварку следует производить на расстоянии не менее 5 *м* от соседних трансформаторов.

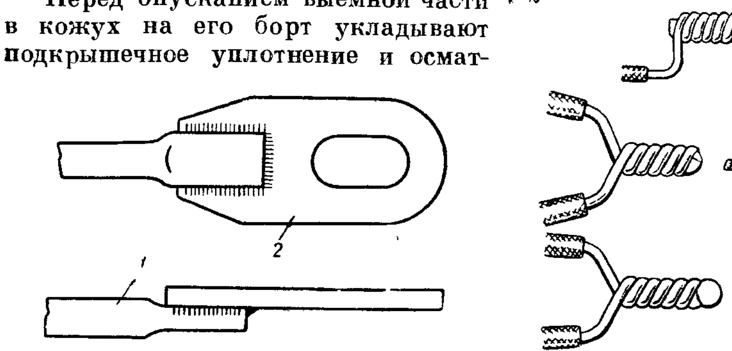


Рис. 122. Конец отвода с припаянной контактной пластиной:

1 — конец отвода; 2 — контактная пластина.

Рис. 123. Способы соединения отводов с концами обмоток:

а — до сварки; *б* — после сварки.

Подкрышечные уплотнения укладывают через болтовые соединения по всей ширине борта кожуха: на борт кожуха к его стенке за болтовыми соединениями или на борт кожуха за болтовыми соединениями около буртика, изготовленного при ремонте кожуха.

Для изготовления буртика (рис. 124) берут стальную проволоку диаметром 4—5 *мм*, выгибают по контуру кожуха и приваривают в отдельных местах через 50—100 *мм* с внутренней стороны борта.

Перед укладкой резиновой прокладки борт кожуха тщательно протирают ветошью, смоченной в бензине, насухо вытирают и смазывают слоем резинового клея. Прилегающую к борту кожуха сторону прокладки очищают, смазывают резиновым клеем и после подсыхания прижимают к борту постукиванием молотка. Пробковые, картонные или клингеритовые прокладки устанавливают на борт кожуха на маслостойком лаке с тщательной промазкой стыков.

После установки подкрышечного уплотнения выемную часть опускают в бак, следя за тем, чтобы сторона низкого напряжения в трансформаторах с вертикальными выводами находилась там, где к кожуху прикреплена табличка с техническими характеристиками или где находится спускной кран (пробка) для масла. При приближении крышки вместе с выемной частью к борту кожуха на расстояние 100—200 *мм* в отверстия крышки и борт ко-

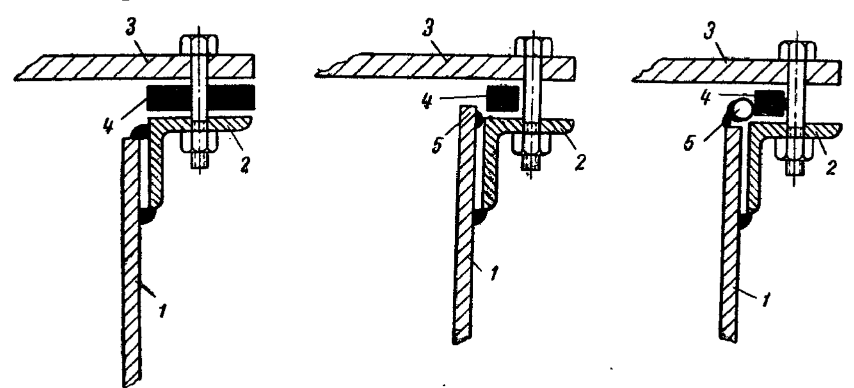


Рис. 124. Способы установки подкрышечных уплотнений:

1 — кожух; *2* — борт кожуха; *3* — крышка; *4* — подкрышечное уплотнение; *5* — бортик кожуха.

жуха устанавливают направляющие стержни, при помощи которых добиваются совпадения отверстий под болты в борту кожуха и крышки. Гайки завертывают равномерно по всему периметру борта без перетяжки, иначе уплотняющая прокладка может сползти в бак. После закрепления крышки трансформатор заливают чистым и сухим маслом с кислотным числом не выше 0,1 и температурой, равной температуре сердечника. Заливку прекращают, когда уровень масла достигает середины расширителя при температуре 15—20°. Трансформатор насухо вытирают ветошью и передают на испытание.

Глава IV

ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Общее число витков обмотки определяют рабочим напряжением машины, а площадь сечения проводников силой тока. Схему соединения обмотки делают так, чтобы, при прохождении по обмотке, ток во всех проводниках какой-нибудь фазы и лежащих на одном полюсном делении имел одно направление, а на соседнем полюсном делении — противоположное. Кроме того, в обмотке должно быть нужное число пар полюсов p, для чего секции соединяют между собой так, чтобы были выдержаны расстояния — шаги. Шаг витка y определяют по числу пазов, лежащих между проводниками, образующими стороны витка. Однослойные катушечные обмотки выполняют с шагом, равным диаметру катушек (диаметральным шагом). Для экономии меди и улучшения электрических свойств машины в двухслойных обмотках применяют укороченный шаг, который берется в пределах до 30% диаметрального шага (полюсного деления). Дальнейшее уменьшение шага снижает э.д.с. витка, что ухудшает использование меди.

Шаг витка катушки выбирают по формуле:

$$y = (1 - 0{,}7)\,\tau = (1 - 0{,}7)\,\frac{z}{2p},$$

где τ — величина полюсного деления;
z — общее число пазов;
$2p$ — число полюсов машины.

В асинхронных двигателях малой и средней мощности применяют катушечные, однослойные секционные, однослойные цепные и двухслойные секционные обмотки.

Независимо от типа обмотка состоит из катушечных групп, а последняя из нескольких отдельных катушек-секций, расположенных в соседних пазах так, чтобы охватывалась часть стали статора в пределах одного полюсного деления.

Секции в катушечной группе соединяются последовательно и по способу образования катушечных групп делятся на два способа. При первом способе катушечную группу делят на две одинаковые части — полукатушки. Полукатушки каждой фазы располагаются на каждом полюсном делении, и число их в цепи одной фазы всегда равно числу полюсов вращающегося магнитного поля; такая

обмотка называется «вразвалку» (рис. 125). При втором способе катушечная группа целиком располагается в пределах одного полюсного деления и соседние полюсные деления не имеют катушечных групп данной фазы. Такую обмотку называют простой катушечной. Величиной, определяющей тип и конструктивное выполнение обмоток электрических машин трехфазного тока, служит число пазов на полюс и фазу q, определяемое делением общего числа пазов z на число фаз и число полюсов. Число пазов на полюс

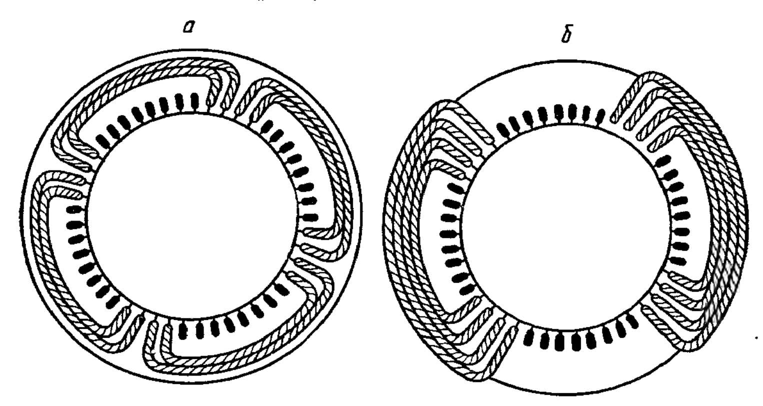


Рис. 125. Лобовые части обмотки одной фазной цепи машины:
а — «вразвалку»; *б* — простая катушечная.

и фазу показывает, сколько рядом лежащих пазов приходится на укладку сторон секций одной катушечной группы:

$$q = \frac{z}{m \cdot 2p},$$

где z — общее число пазов;
m — число фаз;
$2p$ — число полюсов машины.

Если q целое число, то проводники каждой фазы на каждом полюсном делении занимают объем, соответствующий z пазам и распределены по окружности одинаково; при дробном значении q проводники данной фазы занимают различные объемы на разных полюсных делениях.

Не при всяком дробном значении q можно выполнить обмотку так, чтобы она была симметрична по отношению ко всем фазам. При знаменателе дроби, равном или кратном трем, нельзя получить симметричную обмотку. Электрические машины особенно небольшой мощности с такими обмотками работают очень плохо, имеют небольшой пусковой момент, гудят, легко перегреваются, поэтому следует избегать применения таких обмоток.

Катушечные группы одной фазы соединяют последовательно или параллельно, соблюдая направление токов, чтобы не нарушалось образование чередующихся магнитных полюсов.

Катушечные обмотки. Обмотки делают в виде отдельных, заполняющих весь паз катушек разной ширины и длины или из нескольких секций, последовательно соединенных в катушечные группы.

Отдельные катушки катушечной группы, располагаясь в пазах статора и охватывая друг друга, не перекрещиваются в лобовых частях и их часто называют концентрическими. Лобовые части соседних катушек размещают в два яруса (рис. 126). При выполнении катушечной обмотки «вразвалку» обмотки укладывают в три яруса и называют их трехъярусными. Такие обмотки чаще всего делают в двухполюсных двигателях. Каждая фаза двухъярусной катушечной обмотки имеет группы катушек первого и второго ярусов,

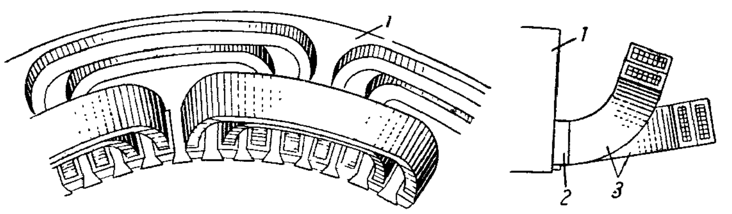


Рис. 126. Лобовая часть двухъярусной катушечной обмотки:

1 — активная сталь; 2 — выступающая манжета из электрокартона; 3 — первый и второй ярусы катушечной обмотки.

у которых все секции одной катушечной группы соединены между собой последовательно. Катушечные обмотки могут иметь параллельные цепи. Самое большое возможное число параллельных цепей равно числу пар полюсов $a_{макс.} = p$. При нечетном числе пар полюсов катушечные группы нельзя выполнить в две параллельные ветви.

Число отдельных секций катушечной обмотки для всех трех фаз всегда равно половине числа пазов статора, поэтому общее число пазов статора должно быть четным. Число катушечных групп для всех трех фаз определяют по формуле:

$$n_к = m \cdot p.$$

Число пазов между внутренними сторонами катушки равно:

$$n = \frac{z}{n_к} = 2q.$$

В трехфазной системе катушка одной фазы отстоит от катушки другой фазы на $^1/_3$ двухполюсного деления или на $^2/_3$ ширины катушки.

Простые катушечные обмотки применяют в статоре и в роторе асинхронных двигателей, особенно малой мощности. Ее выполняют при любом целом числе пазов на полюс и фазу. Катушечные группы содержат одинаковое число секций.

Обмотка «вразвалку» содержит одно и то же число секций в катушечных группах лишь при четном числе пазов на полюс

и фазу. При нечетном числе пазов число секций в катушечных группах обмотки «вразвалку» будет неодинаковым. Такие обмотки применяют редко. На рисунках 127 и 128 представлены два способа изображения схемы катушечной обмотки. Торцовая схема представляет собой схематическое изображение торца статора с условным обозначением расположения катушек в пазах и лобовых соединений обмотки. Развернутая схема дает наглядное представление об укладке секций в пазы и их лобовых частях, а также о соединениях между катушками и фазами обмотки. Лобовые

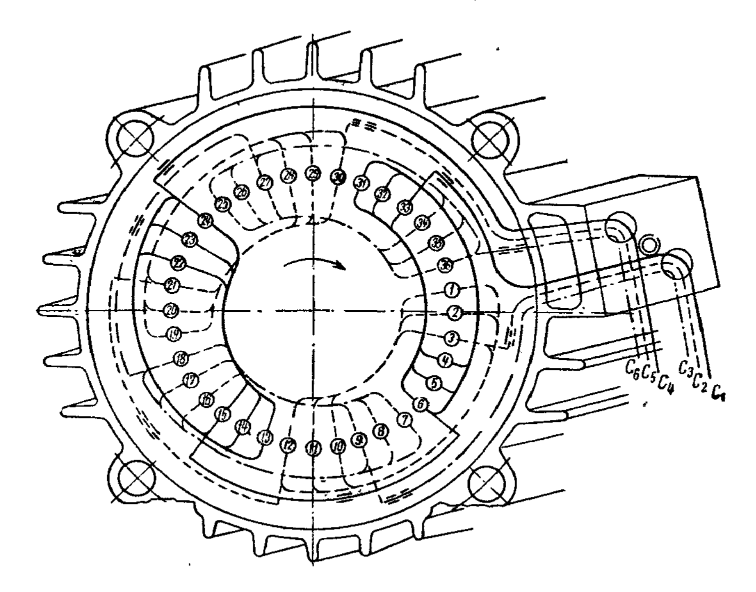


Рис. 127. Торцовая схема катушечной обмотки:
C_1, C_2, C_3 — начала обмоток; C_4, C_5, C_6 — концы обмоток.

части катушек расположены в 2 яруса и каждая сторона их занимает 3 паза, что соответствует числу пазов на полюс и фазу. Внутренние стороны катушки охватывают 6 пазов, которые заполняются сторонами катушек, принадлежащих двум другим фазам.

В схеме 6 катушек, т. е. в полтора раза больше числа полюсов; каждая из них имеет по два выводных проводника. Для соединения берут три выводных проводника от трех рядом расположенных катушек. На схеме проводники взяты от внутренних витков катушек, которые выходят из 33-го, 3-го и 9-го пазов. Расстояние между проводниками равно удвоенному числу пазов на полюс и фазу. Эти три выводных конца пойдут к доске зажимов, поэтому выбирают ближние из них.

После этого катушки соединяют в фазы. Катушки первой фазы изображены сплошными линиями, второй фазы — штрихпунктир-

ными, а третьей фазы — пунктирными линиями. Начала катушек, принадлежащих одной и той же фазе, соединяют с концами.

Конец проводника первой фазы, выходящий из 6-го паза, соединяют с началом второй катушки этой же фазы, выходящим из 15-го паза. Во второй фазе конец проводника катушки, выходящий из 12-го паза, соединяют с началом проводника второй катушки, выходящим из 21-го паза. В третьей фазе конец проводника катушки, выходящий из 18-го паза, соединяют с началом второй катушки, выходящим из 27-го паза. После этого остаются свободными концы, выходящие из 24, 30 и 36-го пазов.

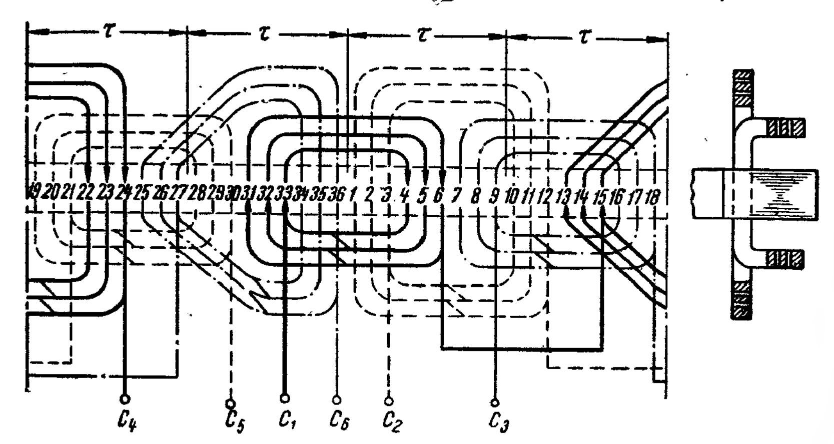


Рис. 128. Развернутая схема катушечной обмотки.

Таким образом, всякая трехфазная обмотка после соединения катушек в фазах будет иметь 6 выводных проводников, из которых C_1, C_2, C_3 — начала и C_4, C_5, C_6 — концы обмотки, которые выводят на доску зажимов.

Однослойные секционные обмотки (рис. 129). Эти обмотки выполняют с полукатушечными группами, соответствующими типам «вразвалку» или цепным однослойным секционным обмоткам. Все секции делают одинаковыми, за исключением обмоток с двойными и чередующимися шагами. Лобовые части соседних секций однослойных обмоток перекрещиваются, за исключением обмоток с двойными и чередующимися шагами, в которых перекрещивается только часть секций. Все одноименные стороны секций выходят из пазов и образуют нижнюю недоступную поверхность лобовых частей, тогда как другие стороны этих же секций образуют наружную доступную область лобовых частей. Общее число секций для всех секционных обмоток всегда равно половине числа пазов статора и каждая сторона секций занимает весь паз, т. е. однослойные секционные обмотки всегда симметричны и сами обмотки можно выполнить только при четном числе пазов статора, так как число секций может быть только целым

числом. Выполнение однослойной секционной обмотки возможно, если число пазов статора делится на 6. Обмотку делают с укороченным (до 0,8 диаметрального) шагом, что дает возможность сэкономить обмоточную медь.

Из схемы видно, что обмотка выполнена по типу «вразвалку» с одинаковыми секциями и с укороченным шагом $y = 5$.

В современных машинах эту обмотку почти не применяют, так как процесс укладывания секций в пазы статора и выгибания лобовых частей обмотки представляет значительную трудность.

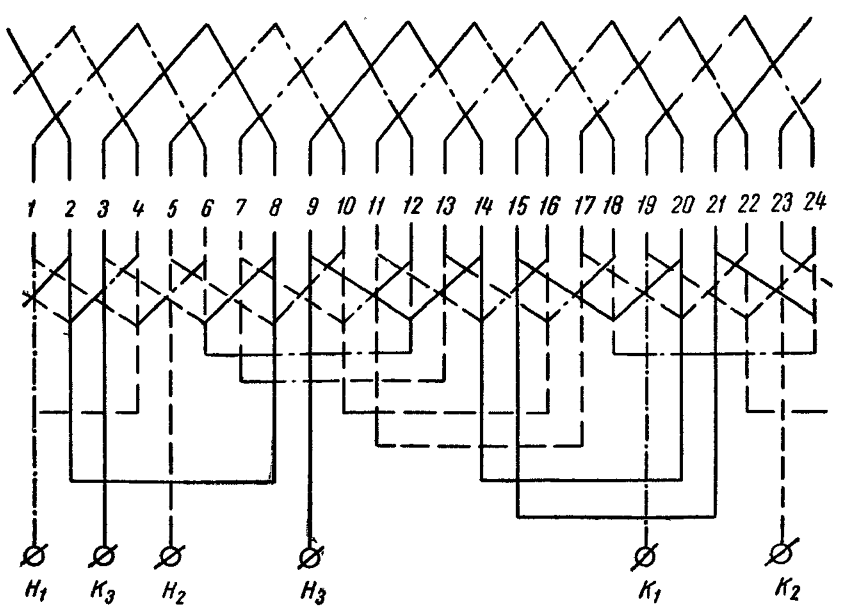


Рис. 129. Электрическая схема обмотки ($z = 24$, $2p = 4$, $q = 2$).

Однако однослойную секционную обмотку удобно применять в тех случаях, когда она не имеет чередующихся и двойных шагов.

Однослойная цепная обмотка. Обмотку применяют в электрических машинах небольшой мощности со «всыпной» обмоткой. Она выполнима только при общем числе пазов, кратном 6, и, кроме имеющих знаменатели, кратные 3.

Цепную обмотку делают с укороченным или удлиненным шагом, но последний всегда должен иметь нечетные значения. Цепную обмотку изготавливают с мягкими и жесткими секциями; последние встречаются сравнительно редко потому, что форма их лобовых частей очень сложна и неудобна для изготовления (рис. 130). Однослойная цепная обмотка имеет одинаковые по форме и размерам катушки и выполняется секциями одинаковой величины и формы, поэтому такую обмотку можно выполнить с любым дробным числом пазов на полюс и фазу. Каждая сторона

секции полностью занимает паз, в который она укладывается. Число катушек в обмотке равно половине числа пазов.

На рисунке 131 приведена электрическая схема цепной обмотки с нечетным числом пазов на полюс и фазу ($q = 3$). Распре-

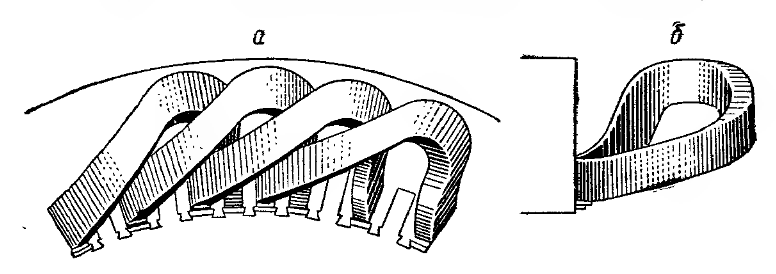


Рис. 130. Форма лобовой части секции цепной обмотки:
а — вид спереди; *б* — вид сбоку.

деление пазов между фазами при $q = 3$ производят так. Для первой фазы занимают все нечетные пазы, номера которых меньше или равны q; это же повторяют на каждой следующей паре по-

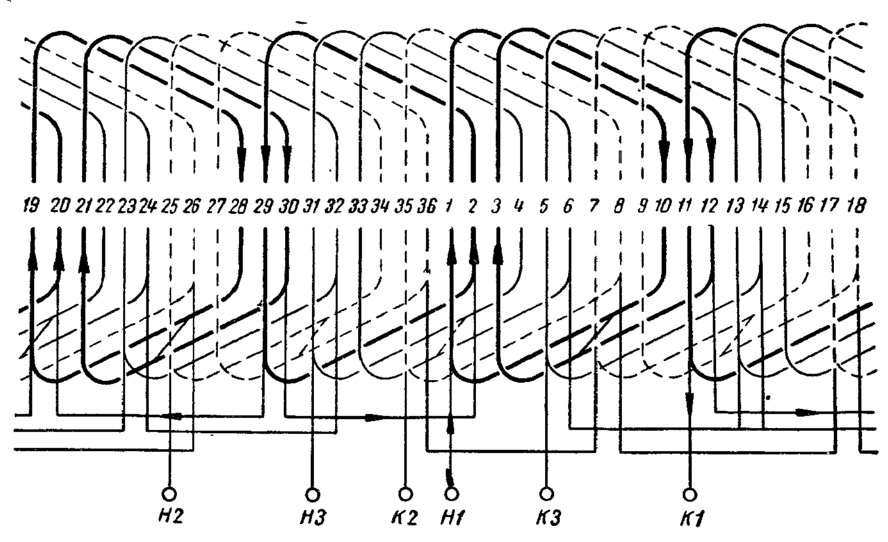


Рис. 131. Схема цепной обмотки для четырехполюсной машины ($q = 3$).

люсных делений прибавлением по $6q$ к номерам занятых пазов. Сначала занимают пазы 1 и 3, так как $q = 3$, к ним добавляют $6 \cdot 3 = 18$, что дает пазы 19 и 21, потом $2 \cdot 6 \cdot 3 = 36$, что дает пазы 37 и 39, и т. д., пока не будет обойдена вся окружность. После этого занимают все пазы, номера которых равны четным числам, меньшим q, сложенным последовательно с 3, 9, 15 и т. д., —

это будут пазы $3 \cdot 3 + 2 = 11$; $9 \cdot 3 + 2 = 29$; $15 \cdot 3 + 2 = 47$ и т. д.

В результате $^1/_6$ часть пазов будет занята левыми, длинными сторонами секций первой фазы. Для подбора пазов, в которые должна лечь правая сторона соответствующих секций, достаточно к каждому занятому пазу подобрать другой, отстоящий от него на расстоянии выбранного шага. Так, если по схеме шаг $y = 9$, то искомыми будут пазы $1 + 9 = 10$; $3 + 9 = 12$; $11 + 9 = 20$; $19 + 9 = 28$; $21 + 9 = 30$; $29 + 9 = 38$ (т. е. 2-й паз).

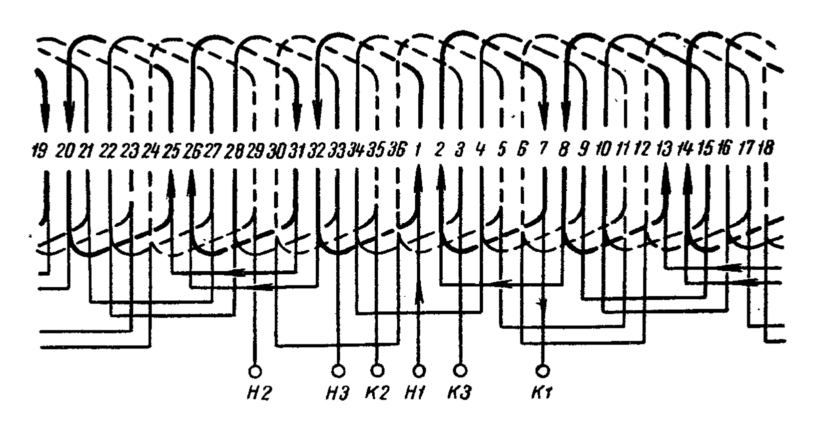


Рис. 132. Схема обмотки для шестиполюсной машины с двумя пазами на полюс и фазу.

Номера пазов второй фазы получают из номеров пазов первой фазы добавлением $2q$, а номера пазов третьей фазы — добавлением $4q$. Так, если укладка первой фазы начата от паза 1-го, то номера второй фазы будут от паза с номерами $2 \cdot 3 + 1 = 7$, а третьей — от паза с номером $4 \cdot 3 + 1 = 13$. После распределения пазов между фазами наносят лобовые части в соответствии с принятым типом обмотки, соблюдая соединение сторон секций с учетом шага обмотки и способа соединения (последовательного или параллельного).

Пример цепной обмотки с четным числом пазов на полюс и фазу $q = 2$ приведен на рисунке 132; расположение секций всех фаз повторяется на каждом полюсном делении, поэтому число параллельных ветвей при четном числе пазов на полюс и фазу q можно сделать равным числу полюсов.

Схема цепной обмотки для восьмиполюсной машины с дробным числом пазов на полюс и фазу $q = 1\frac{1}{2}$ приведена на рисунке 133.

Двухслойные секционные обмотки. Обмотки имеют в пазах два слоя секций; каждая секция одной стороной вкладывается

в верхний слой паза, а другой — в нижний. Число секций всегда равно числу пазов. Число катушечных групп двухслойной обмотки равно числу полюсов. Двухслойные обмотки могут быть выполнены при четных и нечетных числах пазов, но эти числа обязательно должны быть кратными 3. Двухслойные обмотки допускают применение дробного числа пазов на полюс и фазу q, в этом случае обмотка выполнима при условии, что знаменатель дроби, выражающий число q, не кратен 3. Это дает возможность

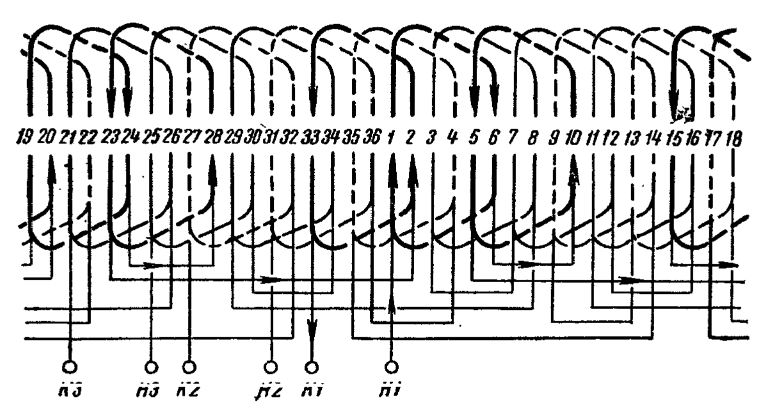


Рис. 133. Схема цепной обмотки для восьмиполюсной машины с $1\frac{1}{2}$ пазами на полюс и фазу.

использовать один и тот же штамп статора для машин с разными числами полюсов. Кроме того, двухслойные обмотки допускают укорочение шага катушек.

Ширину катушки принимают равной 0,8 τ, где τ — полюсный шаг $\left(\frac{z}{2p}\right)$.

В таблице 53 приведена ширина катушки, выраженная числом пазов, при различных значениях q и укорочении для $2p > 2$.

Таблица 53

Ширина катушки, выраженная числом пазов

q	1	2	3	4	5	6	7
τ	3	6	9	12	15	18	21
b	2	5	7	10	12	15	17
$\frac{b}{\tau}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{15}{18}$	$\frac{17}{21}$

Из таблицы видно, что целесообразно принять следующие шаги катушек:

$q=2$	из	1-го в	6-й	паз	$q=5$	из	1-го в	13-й	паз
$q=3$	»	1-го в	8-й	»	$q=6$	»	1-го в	16-й	»
$q=4$	»	1-го в	11-й	»	$q=7$	»	1-го в	18-й	»

При $2p = 2$ рекомендуется брать $\frac{b}{\tau} = \frac{2}{3}$.

Катушечные группы можно соединять между собой в фазе последовательно, параллельно или последовательно-параллельно.

Число параллельных цепей обмотки не может быть произвольным. Параллельно можно соединять цепи, имеющие одинаковые омические и индуктивные сопротивления.

На рисунке 134 изображена полная электрическая схема обмотки для четырехполюсной машины с 36 пазами:

$$q = \frac{z}{2p \cdot m} = \frac{36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 3.$$

Шаг катушек взят равным 7, так как сторона катушки лежит в пазу (1—8). Полюсный шаг, выраженный числом пазов (или зубцов), приходящихся на полюс, составит:

$$\tau = \frac{z}{2p} = \frac{36}{4} = 9.$$

Следовательно, изображенная на схеме обмотка имеет укороченный шаг:

$$\beta = \frac{b}{\tau} = \frac{7}{9}.$$

Так как $q = 3$, то на каждую фазную зону (участок) статора приходится по три паза. Если верхние стороны катушек занимают пазы 1, 2 и 3, тогда нижние займут нижние половины пазов 8, 9 и 10. Таким образом, одна катушечная группа фазы *I* будет занимать верх пазов 1, 2 и 3, а нижние стороны — низ пазов 8, 9 и 10.

Пропустив две фазные зоны, т. е. $2q = 2 \cdot 3 = 6$ пазов, находим фазную зону той же фазы, где будут лежать верхние стороны другой катушечной группы. Номера сторон или пазов будут равны:

$$1 + \tau = 1 + 9 = 10$$
$$2 + \tau = 2 + 9 = 11$$
$$3 + \tau = 3 + 9 = 12$$

Нижние стороны катушечной группы займут пазы, номера которых будут равны:

$$10 + b = 10 + 7 = 17$$
$$11 + b = 11 + 7 = 18$$
$$12 + b = 12 + 7 = 19$$

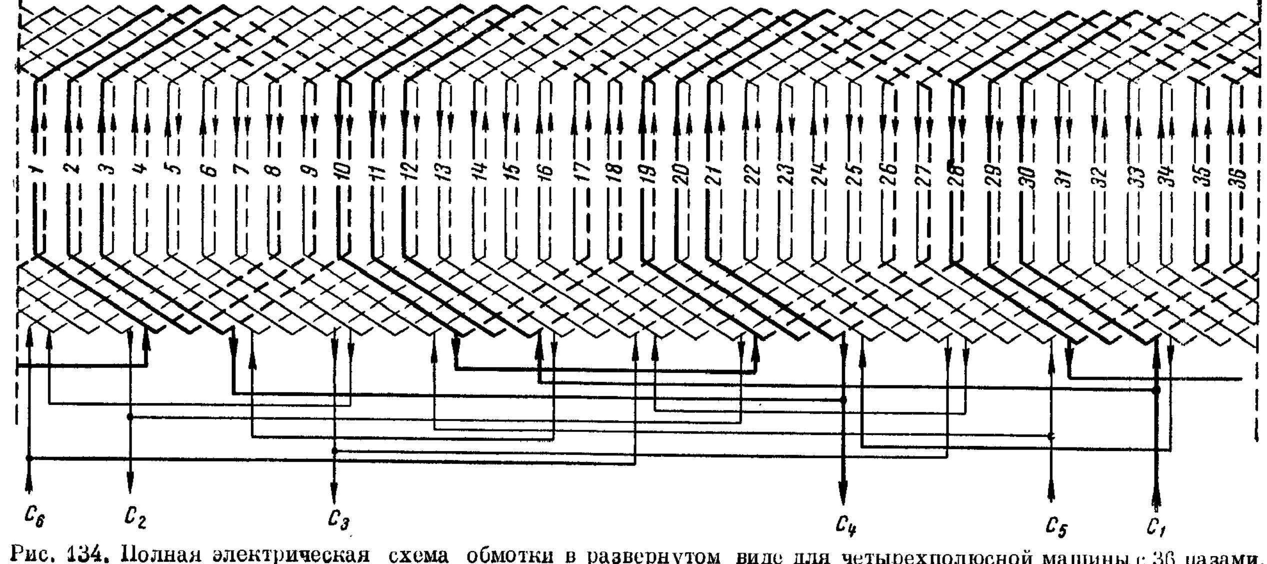


Рис. 134. Полная электрическая схема обмотки в развернутом виде для четырехполюсной машины с 36 пазами.

Верхние стороны катушечных групп этой фазы, входящие во вторую пару полюсов, займут пазы 19, 20 и 21 и другой катушечной группы 28, 29 и 30, а нижние стороны — $19 + b = 19 + 7 = 26$; $20 + b = 20 + 7 = 27$; $21 + b = 21 + 7 = 28$; и соответственно в другой катушечной группе $28 + b = 28 + 7 = 35$; $29 + b = 29 + 7 = 36$; $30 + b = 30 + 7 = 37$.

Заполнение пазов второй фазы получается из номеров пазов первой фазы с добавлением $2q$, а заполнение третьей фазы — добавлением $4q$.

Катушечные группы фазы II займут следующие пазы:

верх пазов

$1 + 2q = 1 + 6 = 7$	$19 + 2q = 19 + 6 = 25$
$2 + 2q = 2 + 6 = 8$	$20 + 2q = 20 + 6 = 26$
$3 + 2q = 3 + 6 = 9$	$21 + 2q = 21 + 6 = 27$
$10 + 2q = 10 + 6 = 16$	$28 + 2q = 28 + 6 = 34$
$11 + 2q = 11 + 6 = 17$	$29 + 2q = 29 + 6 = 35$
$12 + 2q = 12 + 6 = 18$	$30 + 2q = 30 + 6 = 36$

низ пазов

$7 + b = 7 + 7 = 14$	$25 + b = 25 + 7 = 32$
$8 + b = 8 + 7 = 15$	$26 + b = 26 + 7 = 33$
$9 + b = 9 + 7 = 16$	$27 + b = 27 + 7 = 34$
$16 + b = 16 + 7 = 23$	$34 + b = 34 + 7 = 41$ (5)
$17 + b = 17 + 7 = 24$	$35 + b = 35 + 7 = 42$ (6)
$18 + b = 18 + 7 = 25$	$36 + b = 36 + 7 = 43$ (7)

Катушечные группы фазы III займут пазы:

верх пазов

$1 + 4q = 1 + 4 \cdot 3 = 13$	$19 + 4q = 19 + 4 \cdot 3 = 31$
$2 + 4q = 2 + 4 \cdot 3 = 14$	$20 + 4q = 20 + 4 \cdot 3 = 32$
$3 + 4q = 3 + 4 \cdot 3 = 15$	$21 + 4q = 21 + 4 \cdot 3 = 33$
$10 + 4q = 10 + 4 \cdot 3 = 22$	$28 + 4q = 28 + 4 \cdot 3 = 40$ (4)
$11 + 4q = 11 + 4 \cdot 3 = 23$	$29 + 4q = 29 + 4 \cdot 3 = 41$ (5)
$12 + 4q = 12 + 4 \cdot 3 = 24$	$30 + 4q = 30 + 4 \cdot 3 = 42$ (6)

низ пазов

$13 + b = 13 + 7 = 20$	$31 + b = 31 + 7 = 38$ (2)
$14 + b = 14 + 7 = 21$	$32 + b = 32 + 7 = 39$ (3)
$15 + b = 15 + 7 = 22$	$33 + b = 33 + 7 = 40$ (4)
$22 + b = 22 + 7 = 29$	$40 + b = 40 + 7 = 47$ (11)
$23 + b = 23 + 7 = 30$	$41 + b = 41 + 7 = 48$ (12)
$24 + b = 24 + 7 = 31$	$42 + b = 42 + 7 = 49$ (13)

Все катушечные группы соединены параллельно и образуют две параллельные группы.

2. ОБМОТКИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА (ЯКОРНЫЕ ОБМОТКИ)

Обмотка якоря состоит из секций, которые располагаются в пазах и лобовых частях машины. В большинстве случаев пазы якорей бывают открытыми; в таких якорях готовые секции, кроме витковой изоляции, имеют также общую секционную изоляцию.

Обмотки могут быть одно-, двух- и многослойные.

В якорях современных машин исключительное применение имеют барабанные или цилиндрические обмотки (рис. 135). Барабанный якорь представляет собой цилиндр, состоящий из отдельных листов электротехнической стали толщиной 0,5 *мм* с выштампованными в них пазами или канавками, в которые укладывают обмотку.

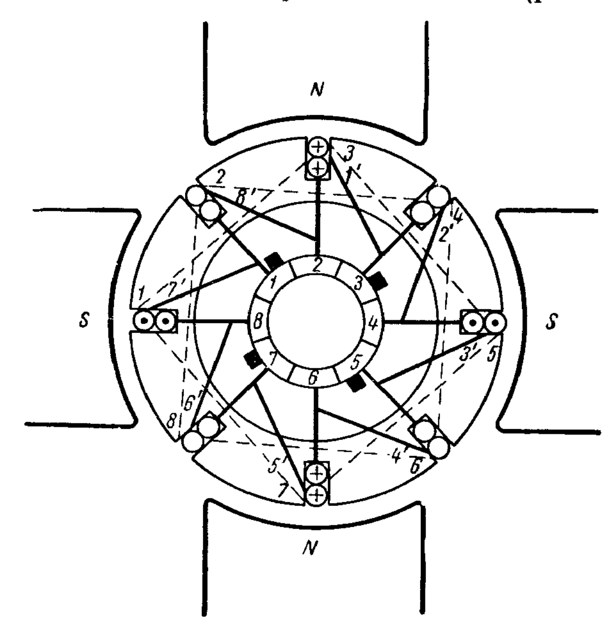


Рис. 135. Барабанная обмотка якоря.

В зависимости от схемы соединений обмотки якоря разделяются на параллельные, или простые петлевые, последовательные, или простые волновые, сложно-петлевые, сложно-волновые, искусственно замкнутые волновые обмотки, волновые обмотки с «мертвыми» секциями, комбинированные, или «лягушечьи», и ступенчатые обмотки.

Простая петлевая (параллельная) обмотка. При обходе по схеме петлевой обмотки мы совершаем поступательно-возвратные движения, образуя ряд петель (рис. 136). Обмотка имеет столько параллельных цепей, сколько полюсов в данной электрической

машине, или $2a = 2p$, где $2a$ — число параллельных цепей, $2p$ — число полюсов. При петлевой обмотке шаг по коллектору $k = \pm 1$, где знак — относится к левой, или перекрещивающейся обмотке, а знак + к правой, или неперекрещивающейся.

Во избежание витковых замыканий обмотку необходимо делать неперекрещивающейся. Безошибочное выполнение обмотки

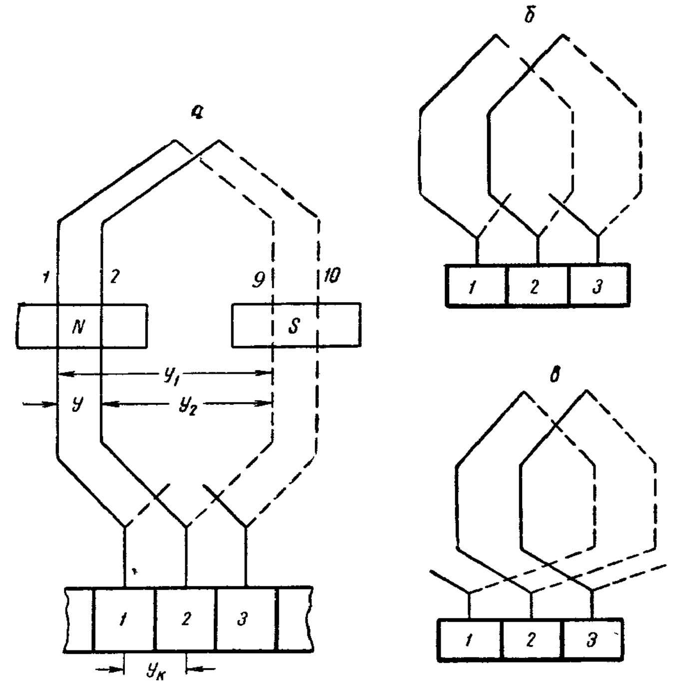


Рис. 136. Схема правой (*а* и *б*) и левой (*в*) петлевых обмоток.

якоря обусловливается обязательным знанием шага по якорю и коллектору. Шаг обмотки влияет на размеры секции. Ширина секции равняется полюсному делению τ, т. е. расстоянию между серединами двух соседних полюсов, выраженному числом пазов $Y_п$:

$$\tau = \frac{z}{2p},$$

где τ — полюсные деления;
z — число пазов;
$2p$ — число полюсов.

Особенность простой петлевой обмотки состоит в том, что ее шаг по коллектору всегда равен единице, а число коллекторных пластин равняется числу активных секционных сторон, умноженному на число пазов якоря, так как начало и конец каждой секции присоединяются к двум смежным пластинам коллектора.

Частичные шаги обмотки выражают числом пазов в следующем виде: y_1 — первичный шаг обмотки; y_2 — вторичный шаг обмотки.

Результирующий шаг обмотки равен:

$$y = y_1 - y_2 = 1;$$

$$y_1 = \frac{z \pm b}{2p},$$

где b — какое-либо число для получения шага, выраженного целым числом ($y_2 = y_1 - y_к$).

Число коллекторных пластин для данного вида обмотки определяют из формулы:

$$K = \frac{z \cdot S_п}{2},$$

где $S_п$ — число сторон секций обмотки в пазу, т. е. число выводных концов секций, присоединяемых к пластинам коллектора.

При ремонте обмоток приходится составлять схемы соединения, для чего нужно знать тип обмотки, число пазов якоря, полюсов машины $2p$, коллекторных пластин k, шаг обмотки по пазам $y_п$, частичные шаги y_1 и y_2 и шаг обмотки по коллектору $y_к$. Чтобы устранить появление уравнительных токов, т. е. осуществить равенство э.д.с. в параллельных ветвях обмотки якоря, нужно делать симметричную обмотку для данного числа пазов (z) и числа коллекторных пластин (K), которая может быть выполнена при следующих условиях:

а) равенство чисел проводов $N_п$ во всех пазах якоря:

$$N_п = \frac{N}{z} \text{ — целое число;}$$

б) одинаковое число пазов, приходящихся на каждую пару параллельных ветвей:

$$\frac{z}{a} \text{ — целое число;}$$

в) число секций в каждой паре параллельных ветвей должно быть равно:

$$\frac{k}{a} \text{ — целое число;}$$

г) каждая секционная сторона, находящаяся под полюсом одной ветви, должна соответствовать секционным сторонам другой ветви одноименной полярности:

$$\frac{2p}{a} \text{ — целое число.}$$

Для простой петлевой обмотки это условие соблюдается всегда, так как $2a = 2p$.

Для примера составим схему двухслойной простой петлевой обмотки, принимая $z = 24$, $2p = 4$ и $S_п = 4$, то число коллекторных пластин определится по формуле:

$$K = \frac{z \cdot S_п}{2} = \frac{24 \cdot 4}{2} = 48.$$

Шаг по коллектору: $y_к = 1$.

Шаг по пазам:

$$y_п = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6;$$

$$y_1 = \frac{z \pm b}{2} = \frac{24 + 0}{4} = 6;$$

$$y_2 = y_1 - y_к = 6 - 1 = 5,$$

т. е. условия симметрии выполнены (рис. 137). Порядок укладки секций обмотки в пазы показан на рисунке 138. Такие обмотки

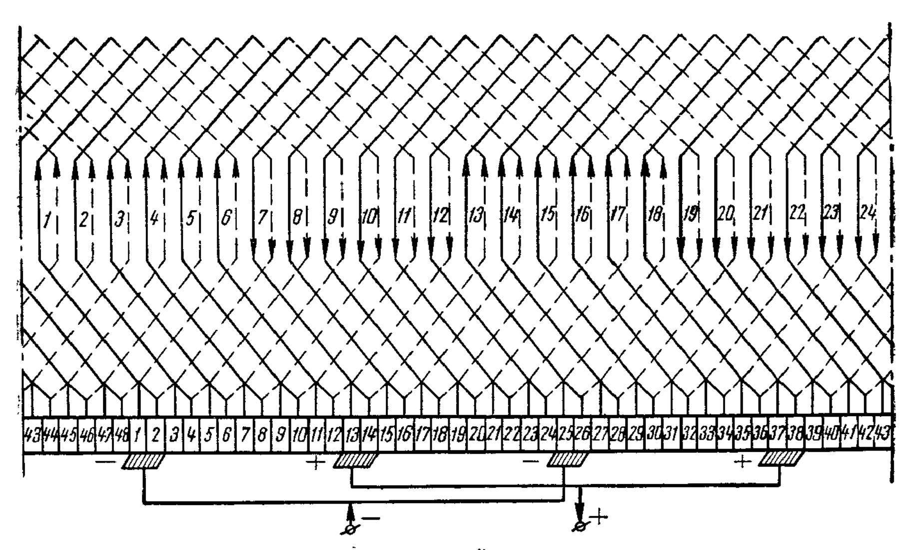


Рис. 137. Схема простой петлевой обмотки.

применяют в двухполюсных машинах малой мощности и многополюсных машинах мощностью выше 500 *квт*.

Простая волновая обмотка. Обмотку называют еще последовательной, так как второй шаг ее отсчитывается в том же направлении, что и первый, т. е. проводники обмотки обходят последовательно все полюса электрической машины. Полный шаг обмотки является суммой первого и второго шагов, обмотка имеет волнообразный характер, число параллельных ветвей при любых числах полюсов машины равно 2:

$2a = 2$; $a = 1$ (число пар параллельных ветвей).

Результирующий шаг:

$$y = y_1 + y_2 = \frac{z \pm b}{p}.$$

Шаг обмотки по коллектору для простой волновой обмотки $y_к$ равняется числу коллекторных пластин K плюс или минус одна, поделенному на число пар полюсов машины p:

$$y_к = \frac{K \pm a}{p} = \frac{K \pm 1}{p},$$

где плюс используют при правой, а минус — при левой обмотке. Отсюда видно, что шаг по коллектору может быть выражен целым числом только тогда, когда общее число коллекторных пластин нечетно. Частичные шаги обмотки, выраженные числом пазов, определяют по формулам:

$$y_1 = \frac{z \pm b}{2p}; \quad y_2 = y - y_1.$$

Разберем пример составления схемы обмотки. В данном случае $2a = 2$, последние три условия симметрии выполняются при любых числах пазов и коллекторных пластин. Поэтому здесь нужно выдержать только первое условие симметрии обмотки. Однако для машин малой мощности допускается отступление от первого условия в случае волновой обмотки с мертвыми секциями.

Пример. Составить схему двухслойной простой волновой обмотки при $z = 15$, $2p = 4$, $S_п = 2$ (рис. 139). Для этого определяют число коллекторных пластин:

$$K = \frac{z \cdot S_п}{2} = \frac{15 \cdot 2}{2} = 15,$$

шаг обмотки по коллектору:

$$y_к = \frac{K - a}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7;$$

шаг обмотки по пазам:

$$y_п = \frac{z}{2p} = \frac{15}{4} = 3\,^3/_4.$$

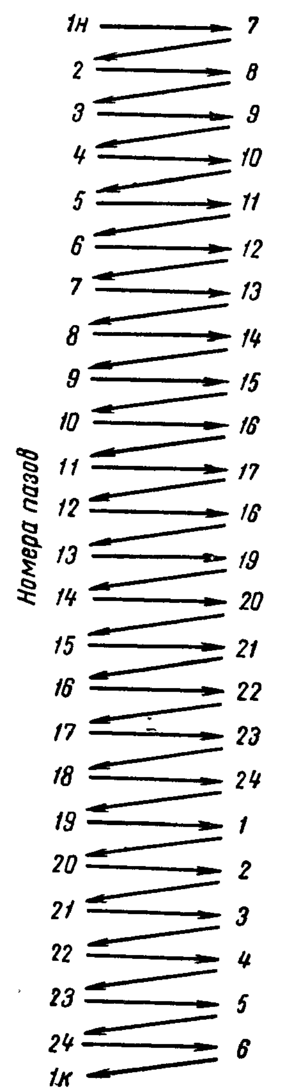


Рис. 138. Таблица соединений к схеме.

Если принимаем $y_п = 4$, тогда $y = \frac{z \pm b}{p} = \frac{15-1}{2} = 7$, $y_1 = \frac{z \pm b}{2p} = \frac{15+1}{4} = 4$, $y_2 = y - y_1 = 7 - 4 = 3$, т. е. условия симметрии обмотки выполняются.

Порядок укладки показан на рисунке 140. Эти обмотки применяют для машин, мощность которых не превышает 50 *квт* при 110 *в*, 100 *квт* при 220 *в*; 300 *квт* при 440 *в*.

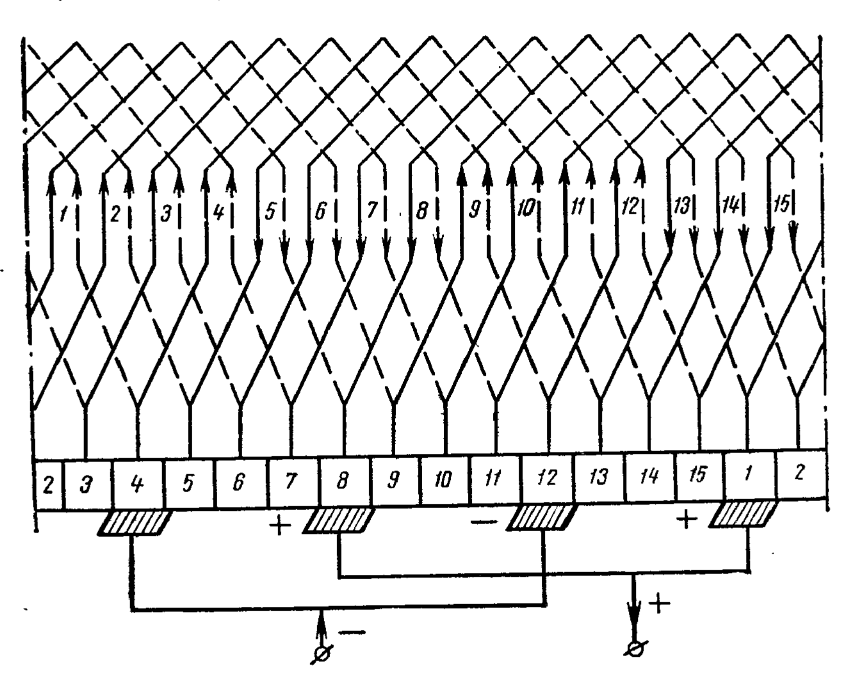


Рис. 139. Схема простой волновой обмотки ($z = 15$, $2p = 4$, $K = 15$).

Сложно-петлевая обмотка. Обмотка состоит из нескольких петлевых обмоток, помещенных в паз якоря и соединенных между собой параллельно щетками, расположенными на коллекторе (рис. 141), применяется в машинах низкого напряжения с большой силой тока, в ней параллельных ветвей больше, чем полюсов в машине. Число параллельных ветвей $2a = 2p \cdot m$, где m — число простых петлевых обмоток, из которых составлена сложно-петлевая обмотка. Обмотки хорошо работают при условии $m = 2$.

Шаги сложно-петлевой обмотки определяют по формулам:

результирующий шаг $y = m$;

шаг по коллектору $y_к = \pm m = \pm 2$.

Распределение секций по параллельным ветвям обмотки при $z = 16$ и $2p = 4$ показано на рисунке 142.

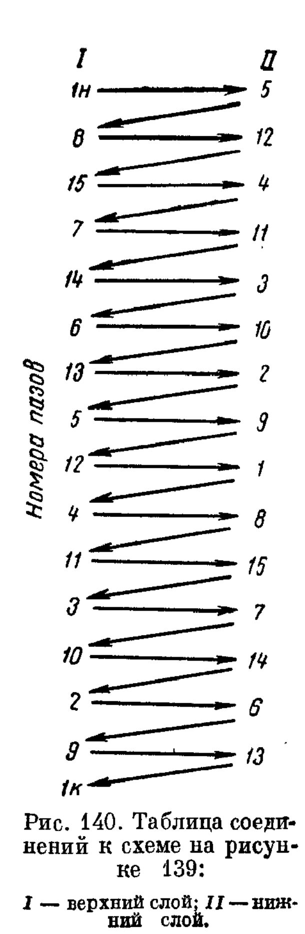


Рис. 140. Таблица соединений к схеме на рисунке 139:

I — верхний слой; *II* — нижний слой.



Рис. 141. Схема сложно-петлевой обмотки.

Для составления схем сложно-петлевой обмотки рассмотрим пример схемы двукратно-замкнутой петлевой обмотки при $z = 16$,

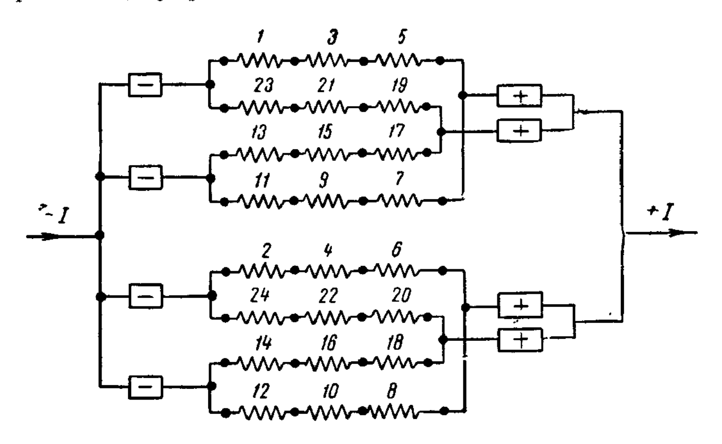


Рис. 142. Распределение секций по параллельным ветвям обмотки, изображенной на рисунке 141.

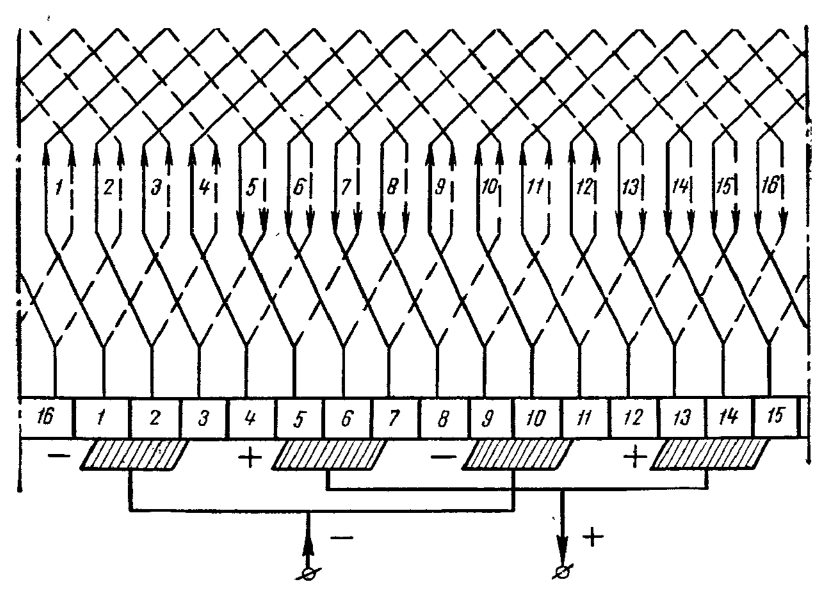


Рис. 143. Схема сложно-петлевой обмотки ($z = 16$, $2p = 4$, $K = 16$, $m = 2$).

$2p = 4$, $S_п = 2$ (рис. 143); нужно найти число параллельных ветвей:

$$2a = m \cdot 2p = 2 \cdot 4 = 8;$$

определить число коллекторных пластин:

$$K = \frac{z \cdot S_п}{2} = \frac{16 \cdot 2}{2} = 16;$$

шаг обмотки по коллектору:

$$y_к = 2;$$

шаг обмотки по пазам:

$$y_п = \frac{z}{2p} = \frac{16}{4} = 4.$$

Частичные шаги при этих условиях будут равны: $y_1 = y_п = 4$; $y_2 = y_1 - y_к = 4 - 2 = 2$.

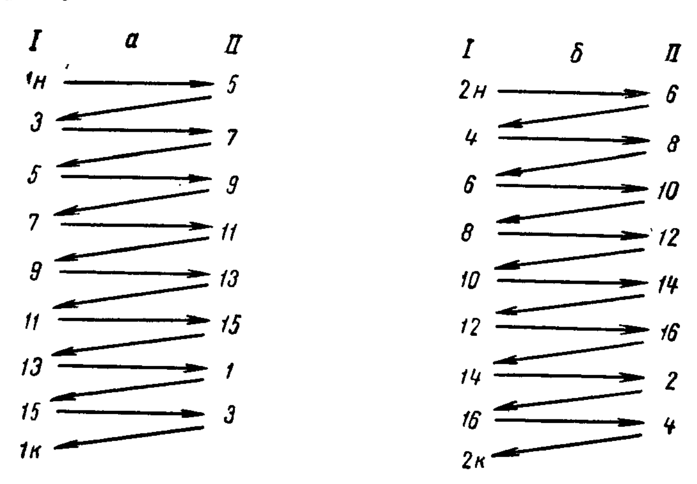


Рис. 144. Таблица соединений к схеме на рисунке 143:

а — первая обмотка (нечетные пазы); *б* — вторая обмотка (четные пазы); *I* — верхний слой; *II* — нижний слой.

Порядок соединения секций указан на рисунке 144.

Сложно-петлевые обмотки применяются для машин низкого напряжения.

Сложно-волновая обмотка. Ее выполняют из ряда волновых обмоток, соединенных между собой параллельно щетками на коллекторе. Число параллельных ветвей равно удвоенному числу простых волновых обмоток: $2a = 2m$, где m — число простых волновых обмоток, составляющих сложную волновую.

Такие обмотки применяют в многополюсных машинах, где простые волновые обмотки приводят к большим токам в отдельных параллельных ветвях. Применение петлевой обмотки создает слишком большое число параллельных ветвей.

Для составления схемы двухкратно-замкнутой сложно-волновой обмотки при $z = 22$, $2p = 4$, $S_п = 2$ (рис. 145) вначале определяют число параллельных ветвей:

$$2a = 2 \cdot m = 2 \cdot 2 = 4;$$

число коллекторных пластин:

$$K = \frac{z \cdot S_п}{2} = \frac{22 \cdot 2}{2} = 22;$$

шаг обмотки по коллектору:

$$y_к = \frac{k \pm a}{p} = \frac{22 - 2}{2} = 10;$$

частичные шаги:

$$y_1 = 5 \text{ и } y_2 = 5;$$

шаг обмотки по пазам:

$$y_п = \frac{k \pm a}{2p} = \frac{22 - 2}{4} = 5.$$

Условия симметрии выполняются.

Сложно-волновые обмотки применяют в многополюсных машинах мощностью 150 — 300 *квт* при 220 *в*. При простой петлевой

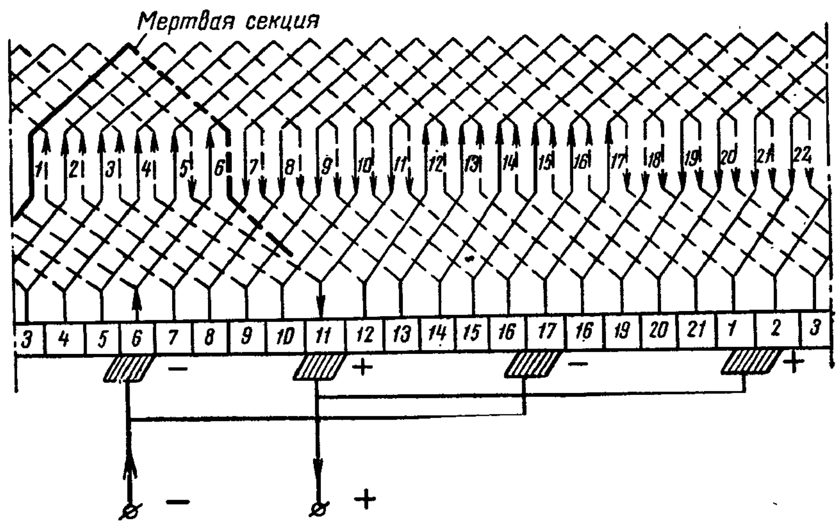


Рис. 145. Схема сложно-волновой обмотки ($z = 22$, $2p = 4$, $K = 22$, $m = 2$).

обмотке получается очень большое количество коллекторных пластин.

Искусственно замкнутые волновые обмотки. В том случае, когда простые волновые обмотки в якоре при определенном числе

пластин не могут быть выполнены, применяются искусственно замкнутые волновые обмотки.

Известно, что в электрических машинах при четном числе коллекторных пластин четырехполюсная волновая обмотка не замыкается, поэтому требуется искусственный метод намотки. Способ намотки заключается в том, что при расчете принимают число коллекторных пластин и пазов на единицу больше фактических, т. е. не K и z, а $(K+1)$ и $(z+1)$.

В таком случае одна коллекторная пластина $(K+1)$ и секция, выходящая из $(z+1)$ во второй паз, заменяется проводником l,

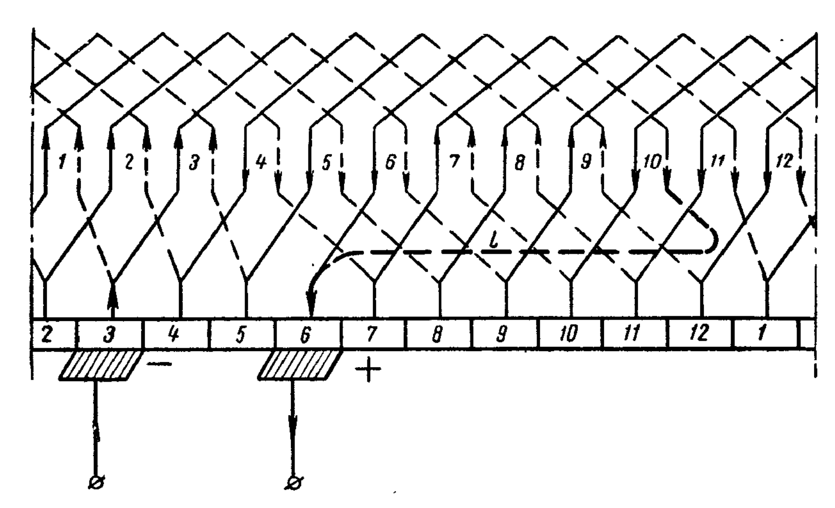


Рис. 146. Схема искусственно замкнутой волновой обмотки.

а провода, лежащие в нижнем слое пазов $(z+1)$ и первого, сдвигаются на один паз вправо. Проводник нижнего слоя первого паза попадает в нижний слой второго паза, а проводник, лежащий внизу z-го паза, — в нижний слой первого паза. Этим сдвигом z-й паз освобождается и обмотка автоматически замыкается, получается искусственно замкнутая волновая обмотка.

Ввиду того что не существует пластин $(K+1)$, шаги по коллектору для этой обмотки будут не одинаковыми, а периодически чередоваться в зависимости от числа полюсов машины:

$$y_{к}' = \frac{(K+1)-1}{p} = \frac{K}{p} \text{ (первый шаг)};$$

$$y_{к}' = \frac{K}{p} - 1 \text{ (второй шаг)}.$$

В качестве примера можно рассмотреть четырехполюсную обмотку, где один шаг равен $y_к$, а другой $y_к'$; при шестиполюсной обмотке из трех шагов одного обхода два равны $y_к$, а третий $y_к'$.

Для соблюдения порядка намотки начинают закладывать секцию из первой коллекторной пластины, тогда при обходе обмотки по окружности якоря оставшийся свободный конец соединяют с проводником, впаянным в эту пластину.

Если якорь имеет $z = 12$, $2_p = 4$, $K = 12$, $S_п = 2$ (рис. 146) и по расчету необходимо иметь волновую обмотку, то расчет ведут по числу коллекторных пластин $(K + 1)$ и пазов $(z + 1)$.

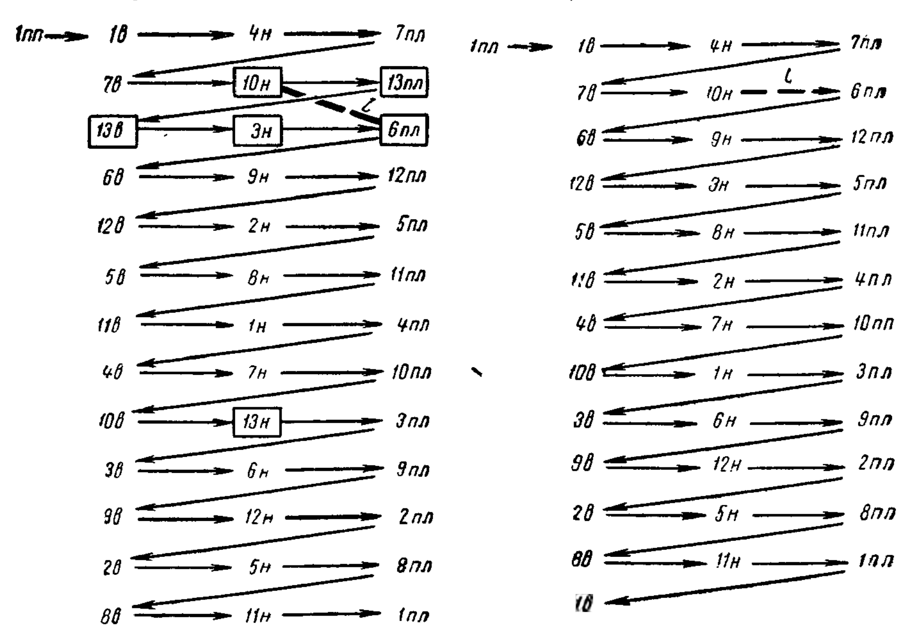


Рис. 147. Цифровая схема соединений к рисунку 146.

Рис. 148. Цифровая схема перехода от простой волновой обмотки при $z = K = 13$ к искусственно замкнутой волновой обмотке при $z = K = 12$.

В этом случае $K + 1 = 13$, $z + 1 = 13$, шаги по коллектору составят: $y_к = \frac{(K+1)-1}{p} = \frac{12}{2} = 6$; $y_1 = 3$ и $y_2 = 3$, шаг по пазам: $y_п = \frac{z}{2p} = \frac{12}{4} = 3$.

Коллекторные пластины и секционные стороны соединяют так, как показано на рисунке 177. Ввиду того что пластины *13* и секция *13*, состоящая из 13-го верхнего и 3-го нижнего проводников, не существуют, их заменяют проводником l, соединяя с ним нижний проводник паза *10* и коллекторную пластину *6*.

На рисунках 147 и 148 пунктирная линия служит проводником, при помощи которого происходит искусственное замыкание.

Волновые обмотки с «мертвыми» секциями. Иногда необходимо, чтобы число коллекторных пластин одной обмотки равнялось

числу пазов, умноженному на число активных секционных сторон обмотки, а для другой — число коллекторных пластин должно быть нечетным и кратным числу пар полюсов $y_к = \frac{K \pm 1}{p}$; поэтому в некоторых случаях обмотка имеет «мертвые» проводники и «мертвые» секции. Так, например, в четырехполюсной машине с простой волновой обмоткой при $p = 2$: $y_к = \frac{K-1}{2}$.

Шаг по коллектору должен быть целым числом, поэтому число коллекторных пластин K должно быть нечетным. Число же сек-

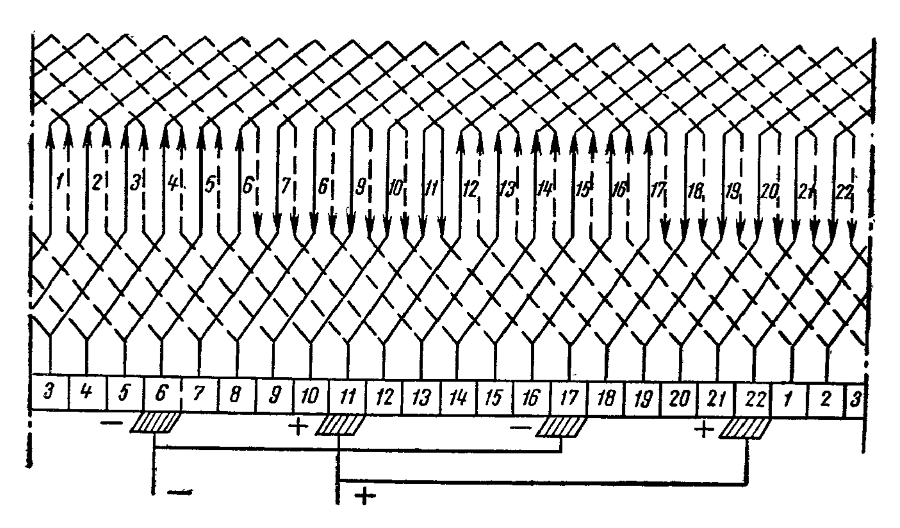


Рис. 149. Схема волновой обмотки с «мертвой» секцией ($z = 22$, $2p = 4$, $K = 21$).

ций в машине может оказаться четным. В таком случае одна из секций остается «мертвой», т. е. не присоединяется к коллектору и не участвует в создании э.д.с., а закладывается лишь для механического баланса якоря. Данная обмотка является несимметричной.

Рассмотрим пример составления схемы двухслойной простой волновой несимметричной обмотки с мертвой секцией для $z = 22$, $2p = 4$, $S_п = 2$ (рис. 149). Определяют число коллекторных пластин:

$$K = \frac{z \cdot S_п}{2} - 1 = \frac{2 \cdot 22}{22} - 1 = 1;$$

шаг обмотки по пазам: $y_п = \frac{z}{2p} = \frac{22}{4} = 5^1/_2$ (принимают $y_п = 5$); $y = \frac{z \pm b}{p} = \frac{22-2}{2} = 10$; $y_1 = \frac{z \pm b}{2p} = \frac{22-2}{4} = 5$; $y_2 = y - y_1 = 10 - 5 = 5$.

В сравнении с волновыми петлевые обмотки можно выполнять при любом числе коллекторных пластин — без «мертвых» секций. При петлевых обмотках необходимы уравнительные соединения, разгружающие щетки и коллекторные пластины от уравнительных токов, появление которых вызывается неравенством воздушных зазоров под различными полюсами электрической машины.

Неравенство магнитных потоков вызывается плохой сборкой машины или сработкой подшипников, зависит также от неоднородности материала магнитной цепи (раковины в отливке станины), плохой сборки полюсов и т. д.

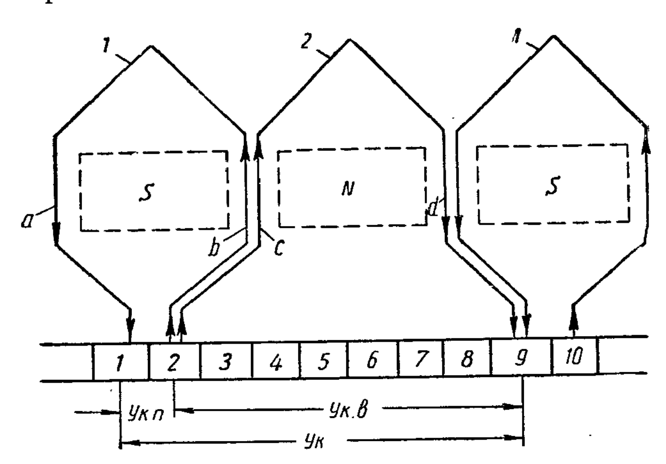


Рис. 150. Общая схема комбинированной «лягушечьей» обмотки:
1 — петлевая; 2 — волновая.

Шаг уравнительных соединений $y_{ур}$ должен быть четным и кратным числу пар полюсов: $y_{ур} = \frac{K}{p}$.

Уравнительные соединения размещают под лобовыми частями обмоток и непосредственно на коллекторе. При волновых обмотках уравнительные соединения отсутствуют, ввиду выравнивания токов в цепях обмотки.

Комбинированная «лягушечья» обмотка. Обмотка, составленная из сложно-волновой и петлевой обмоток с одинаковым числом секций, называется «лягушечьей» (рис. 150) и применяется для мощных и низковольтных машин. Она не требует уравнительных соединений, потому что сами секции служат уравнительными соединениями. Чтобы получить комбинированную обмотку, нужно заложить в пазы якоря петлевую и волновую обмотки с одним и тем же числом витков и параллельных ветвей; число параллельных ветвей будет вдвое больше числа полюсов, так как обе обмотки соединены параллельно. Обе обмотки присоединяют к кол-

лекторным пластинам, поэтому к каждой коллекторной пластине присоединяются четыре проводника.

Для определения пластин одного потенциала нужно, чтобы шаги по коллектору удовлетворяли условию:

$$y_{к.п} + y_{к.в} = \frac{K}{p},$$

где $y_{к.п}$ — шаг по коллектору петлевой обмотки;

$y_{к.в}$ — шаг по коллектору волновой обмотки; в этом случае сумма э.д.с., индуктированных в контуре a — b — c— d, будет равна нулю.

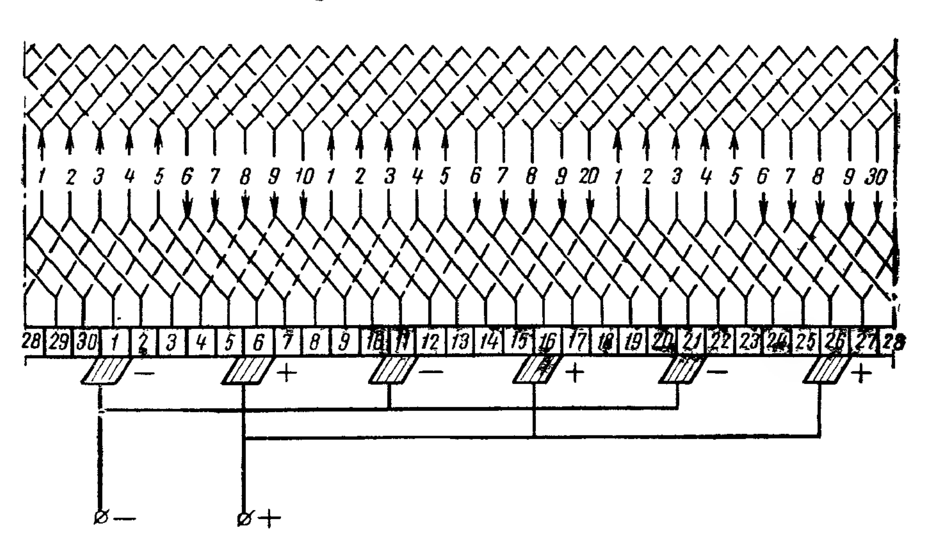


Рис. 151. Схема «лягушечьей» обмотки ($z = 30$, $2p = 6$, $K = 30$).

Сумма шагов волновой и петлевой обмоток равна числу пазов, приходящемуся на пару полюсов:

$$y_{к.п} + y_{к.в} = \frac{z}{p}.$$

Для расчета схемы «лягушечьей» обмотки с числом пазов $z = 30$, $2p = 6$, $S_п = 2$ вначале определяют число коллекторных пластин: $K = \frac{z \cdot S_п}{2} = \frac{30 \cdot 2}{2} = 30$, затем шаги обмотки по коллектору (рис. 151) $y_{к.п} + y_{к.в} = \frac{K}{p} = \frac{30}{3} = 10$, отсюда $y_{к.п} = 1$ $y_{к.в} = 10 - 1 = 9$; шаг обмотки по пазам: $y_{п.п} = y_{п.в} = \frac{z}{2p} = \frac{30}{6} = 5$.

Ступенчатые обмотки. Для выполнения обмотки при дробном шаге по пазам применяют ступенчатые (лестничные) обмотки.

Такие обмотки имеют неравные секции, т. е. левые стороны лежат в верхних слоях паза, а правые — в нижних. Так, например, обмотка идет из первого паза сверху в нижний слой седьмого паза, затем обратно в первый паз, после чего в восьмой и т. д.

Применение ступенчатых обмоток создает более благоприятные условия для коммутации тока, по сравнению с равносекционными обмотками.

Несмотря на дороговизну этих обмоток в производстве, все же они изготовляются довольно часто. Ступенчатые обмотки имеют уширенную зону коммутации, требующую соответственного уширения полюсных наконечников дополнительных полюсов, что является недостатком обмотки.

3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

Во время осмотра провода, бывшие в употреблении, распределяют на годные и не подлежащие дальнейшему использованию (небольшие куски с вмятинами или оплавленными местами). Провода, отобранные для восстановления, сортируют по диаметру, временно соединяют скруткой отрезки одного диаметра и сматывают в бухты. Укладка витков в бухты не должна быть плотной. После намотки провода в бухты удаляют старую изоляцию обжигом механическим или химическим способом. Обжиг ведут в герметически закрытых печах с рабочим пространством до 500 *мм* в диаметре и высотой от 400 до 600 *мм*, обеспечивающих равномерный прогрев всей массы провода. Провода, диаметр которых больше 1,5 *мм*, обжигают при температуре 450°, диаметром 1,0—1,5 *мм* — при 300°, диаметром меньше 1,0 *мм* — при 250°.

Для полного удаления остатков изоляции после обжига провода подвергают травлению в течение 5—10 минут в водном растворе серной кислоты. Плотность раствора не должна превышать 25° по Боме. При изготовлении раствора берут 4—5 *куб. см* серной кислоты плотностью 60° с удельным весом 1,84 и выливают ее в воду объемом 95 *куб. см* при температуре 15—20°, что составляет (в весовых единицах) 9 *г* серной кислоты и около 95 *г* воды на 0,1 *л* раствора. Для ускорения процесса травления раствор подогревают до температуры 40—50°. Удельный вес свежего раствора должен составлять 1,035—1,037 $г/см^3$ или 4—5° по Боме. Затем провода промывают в проточной воде и опускают на 15—20 *мин* в ванну с 1-процентным мыльным раствором для нейтрализации, который предварительно подогревают до 60—70°. После нейтрализации провода еще раз промывают водой, просушивают или тщательно протирают суконными тряпками. Удалять остатки изоляции ножом не следует. Соединение отдельных отрезков проводов между собой выполняют при помощи сварочного аппарата напряжением 120—220/4—36 *в*. При сварке проводов встык требуемую величину тока можно ориентировочно определить по таблице 54.

Таблица 54

Величина тока при сварке проводов

Диаметр голого провода (в *мм*)	Приблизительная величина тока плавления (в *а*)	Диаметр голого провода (в *мм*)	Приблизительная величина тока плавления (в *а*)
0,51	30	1,16	100
0,64	40	1,30	120
0,80	50	1,45	140
0,86	60	1,62	160
0,93	70	1,74	180
1,00	80	1,95	225
1,08	90	2,10	250

Для флюса применяют буру в порошке, а в качестве припоя — медно-фосфористый припой или латунную пластинку шириной 1—2 *мм*, толщиной 1,0—0,2 *мм*, прокладываемую во время сварки встык между концами провода. Провода диаметром меньше 1 *мм* соединяют оловянисто-свинцовым припоем марки ПОС-40, для чего очищенные их концы предварительно соединяют. Стык проводов посыпают порошком канифоли и опускают в расплавленный припой; можно применять раствор канифоли в денатурированном спирте. Места соединения проводов очищают тонкой шкуркой от остатков флюса. Место сварки или спая не должно иметь заметных утолщений. Выпрямление проводов и намотка их на катушки производится одновременно на правочном станке (рис. 152). Для выпрямления провод пропускают через сжим, снабженный войлочной прокладкой, или выпрямляющее приспособление, состоящее из 3—5 роликов. Выпрямленный провод наматывают на деревянные катушки или барабаны; при намотке проверяют состояние провода по всей длине. На катушку наматывают не более 10—12 *кг* провода и снабжают ее ярлыком с указанием диаметра провода и веса. Если после проверки диаметра провода микрометром оказалось, что диаметр его выходит за нижний предел допуска, установленного ГОСТом 6324—52, то этот провод надо подвергнуть волочению до ближайшего меньшего размера.

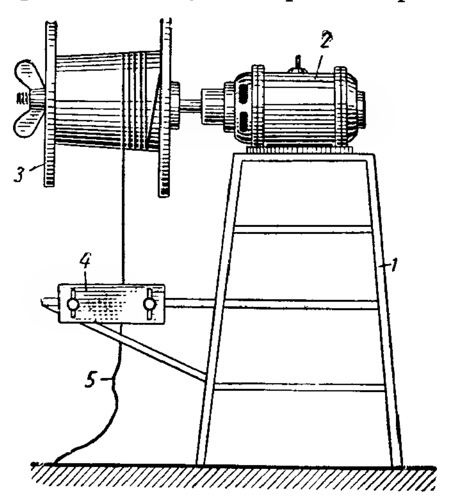


Рис. 152. Правочный станок:

1 — металлическая рама; *2* — электродвигатель; *3* — деревянная катушка; *4* — сжим; *5* — провод.

Пряжа для изоляции провода намотана в початках (цевках) или бобинах в одну нить. Для получения плотного слоя изоляции из пряжи на погонный метр провода должно быть уложено 1200—20 000 витков. Для ускорения наложения пряжи ее перематывают в виде ленточки на одну катушку. Число ниток при перематывании зависит от номера пряжи и диаметра провода. Необходимо, чтобы все нити в ленточке (пасме) располагались параллельно друг другу, не набегая одна на другую, и имели одинаковую длину. Ленточку наматывают на катушку (шпулю) под некоторым углом, чтобы она легко сходила на обматываемый провод. Влажность пряжи не должна превышать 2%. Трощение (перематывание) пряжи производят на тростильной машине.

Перед наложением изоляции определяют диаметр провода, шаг обмотки, номер пряжи и необходимое число нитей в пасме. Диаметр провода определяют микрометром, а величину шага обмотки h — по формуле:

$$h = 1000\,\frac{v}{n},$$

где v — скорость обмотки (в *м/мин*);
n — число оборотов розетки в 1 минуту;
h — шаг обмотки (в *мм*).

В таблице 55 приведены величины шага обмотки из хлопчатобумажной пряжи, принятые на кабельных заводах.

Таблица 55

Величины шага обмотки в зависимости от диаметра провода (в мм)

Диаметр провода	0,05—0,2	0,21—0,3	0,31—0,6	0,61—0,8	0,81—2,2	2,2—5,0
Шаг обмотки . . .	0,4—0,8	0,8—0,9	0,9—1,4	1,4—1,8	1,8—3,0	3,0—5,0

Чтобы определить ширину строщенной пряжи (пасмы) «$Ш$», надо знать шаг обмотки h и диаметр провода d_1:

$$Ш = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot h}{\sqrt{h^2 + \pi^2 \cdot d_1^2}}.$$

Номер пряжи определяют по формуле:

$$N = \frac{0{,}785}{d^2},$$

где N — номер пряжи;
d — первоначальный диаметр пряжи (в *мм*).

В таблице 56 приведены ориентировочные значения толщины изоляции и ширины отдельных нитей, когда нить при наложении на провод расплющена до необходимых размеров.

Таблица 56

Размеры изоляции проводов (в *мм*)

Номер пряжи	54	85	100	134	170	200	240
Толщина изоляции	0.105	0,085	0.077	0,067	0,056	0.052	0,048
Ширина нити	0.185	0,177	0,136	0,119	0,100	0,091	0,083

Число нитей n в ленточке должно обеспечить покрытие всей поверхности провода. Если при установленном шаге принять определенную ширину ленточки и ширину отдельной сплющенной нити «$в$», то число нитей в ленточке (пасме) определится так:

$$n = \frac{Ш}{b}.$$

Полученное число нитей нужно проверить на обмоточной машине. Пряжа на проводе должна лежать гладко, без ребристости и неровностей верхнего слоя обмотки, вызванных просветами или отставанием ниток в нижнем слое и перекруток, без шишек и

Таблица 57

Размеры проводов и их упаковка (намотка)

Форма сечения провода	Размеры проволоки (в *мм*)	Вид упаковки
Круглая	Диаметр до 0,80 включительно	На катушки
	Диаметр от 0,83 до 2,10	На катушки или в бухты
	Диаметр от 2,26 до 5,20	На барабаны по ГОСТ 5151—49 или в бухты
Прямоугольная	Все размеры	На барабаны по ГОСТ 5151—49 или в бухты

Таблица 58

Размеры катушек (в *мм*)

Номер катушки	Длина катушки	Ширина катушки	Длина шейки	Диаметр шейки	Диаметр осевого отверстия	Диаметр провода, наматываемого на катушки
8	95	190	75	60	12	До 1,0
9	95	220	75	60	12	» 1,0
10	164	190	140	60	30	» 1,0
11	174	250	150	90	30	» 1,63

Обмотка проводов марок ПЭЛБО и ПБД

(по данным завода Москабель)

Диаметр медной проволоки (в *мм*)	Максимальный диаметр с эмалью (в *мм*)	ПЭЛБО: толщина изоляции (в *мм*)	ПЭЛБО: номер пряжи и число нитей	ПЭЛБО: максимальный диаметр с изоляцией (в *мм*)	ПБД: толщина изоляции (в *мм*)	ПБД: номер пряжи и число нитей (1-я цифра — число нитей в пасме первого слоя изоляции, 2-я — число нитей в пасме второго слоя)	ПБД: максимальный диаметр с изоляцией (в *мм*)	Расчетные данные
0,35 ± 0,01	0,385	0,160	170/13	0,520	0,22	170/11—12	0,580	
0,38 ± 0,01	0,415	0,165	170/14	0,555	0,22	170/11—12	0,610	
0,41 ± 0,01	0,445	0,165	170/14	0,585	0,22	170/11—12	0,640	
0,44 ± 0,01	0,485	0,165	170/15	0,615	0,22	170/12—12	0,670	
0,47 ± 0,01	0,515	0,165	170/15	0,645	0,22	170/12—12	0,700	
0,49 ± 0,01	0,535	0,165	170/15	0,665	0,22	170/12—12	0,720	
0,51 ± 0,01	0,555	0,170	170/15	0,690	0,22	170/12—13	0,740	
0,53 ± 0,01	0,575	0,170	170/15	0,710	0,22	170/12—13	0,760	
0,55 ± 0,01	0,595	0,170	170/15	0,730	0,22	170/12—13	0,780	
0,57 ± 0,01	0,615	0,170	170/15	0,750	0,22	170/12—13	0,800	Линейная скорость 6,216 *м* в 1 *мин*
0,59 ± 0,01	0,635	0,170	170/15	0,770	0,22	170/12—13	0,820	
0,62 ± 0,01	0,665	0,170	170/16	0,800	0,22	170/12—13	0,850	Шаг обмотки 1,54 *мм*
0,64 ± 0,01	0,685	0,170	170/16	0,820	0,22	170/13—14	0,870	
0,67 ± 0,01	0,715	0,170	170/16	0,850	0,22	170/13—14	0,900	
0,69 ± 0,01	0,735	0,170	170/16	0,870	0,22	170/13—14	0,920	
0,72 ± 0,015	0,775	0,180	170/18	0,915	0,22	170/14—15	0,955	
0,74 ± 0,015	0,795	0,180	170/18	0,935	0,22	170/14—15	0,975	
0,77 ± 0,015	0,825	0,180	170/18	0,965	0,22	170/14—15	1,005	
0,80 ± 0,015	0,855	0,180	170/18	0,995	0,22	170/15—16	1,035	
0,83 ± 0,015	0,885	0,180	170/18	1,025	0,22	170/15—16	1,065	
0,86 ± 0,015	0,915	0,180	170/18	1,055	0,22	170/15—16	1,095	
0,90 ± 0,015	0,985	0,180	170/18	1,095	0,22	184/15—16	1,135	
0,93 ± 0,015	0,985	0,180	170/18	1,125	0,22	184/15—16	1,165	
0,96 ± 0,015	1,015	0,180	170/17	1,155	0,22	184/15—16	1,195	
1,00 ± 0,015	1,06	0,21	134/16	1,225	0,27	134/15—16	1,285	
1,04 ± 0,02	1,11	0,21	134/16	1,270	0,27	134/15—16	1,330	
1,08 ± 0,02	1,15	0,21	134/17	1,310	0,27	134/16—17	1,370	
1,12 ± 0,02	1,19	0,21	134/17	1,350	0,27	134/16—17	1,410	
1,16 ± 0,02	1,23	0,21	134/17	1,390	0,27	134/16—17	1,450	
1,20 ± 0,02	1,27	0,21	134/17	1,430	0,27	134/16—17	1,490	
1,25 ± 0,02	1,32	0,21	134/18	1,480	0,27	134/16—17	1,540	

Диаметр медной проволоки (в мм)	Максимальный диаметр с эмалью (в мм)	ПЭЛБО			ПБД			Расчетные данные
		толщина изоляции (в мм)	номер пряжи и число нитей	максимальный диаметр с изоляцией (в мм)	толщина изоляции (в мм)	номер пряжи и число нитей (1-я цифра — число нитей в пасме первого слоя изоляции, 2-я — число нитей в пасме второго слоя)	максимальный диаметр с изоляцией (в мм)	
1,30 ± 0,02	1,37	0,21	134/18	1,530	0,27	134/16—17	1,590	Число оборотов верхней розетки 4031 *об/мин*
1,35 ± 0,02	1,42	0,21	134/18	1,580	0,27	134/17—18	1,640	
1,40 ± 0,02	1,47	0,21	134/18	1,630	0,27	134/17—18	1,690	
1,45 ± 0,02	1,52	0,21	134/18	1,680	0,27	134/17—18	1,740	
1,50 ± 0,02	1,56	0,21	134/18	1,730	0,27	134/17—18	1,790	
1,56 ± 0,02	1,63	0,21	134/18	1,790	0,27	134/17—18	1,850	

утолщений от неравномерного поступательного перемещения провода при нарушении настройки обмоточной машины. Размеры обмоточных проводов должны соответствовать ГОСТу 6324—52. Обмоточные провода перематывают на деревянные катушки, барабаны или бухты, которые выбирают в зависимости от диаметров наматываемых проводов (табл. 57).

Номера катушек и их размеры, на которые сматывают провода, приведены в таблице 58.

Провода, намотанные на катушку ровными и правильными рядами, обертывают плотной бумагой, а начало и конец мотка выводят на ее щеку для контрольных измерений. К каждой катушке прикрепляют ярлык с указанием марки провода, размера провода голого и с изоляцией, вес нетто и брутто, время восстановления. Обмотанные провода хранят в закрытом, сухом и отапливаемом помещении.

В таблице 59 приведены данные завода «Москабель» по обмотке проводов марок ПЭЛБО и ПБД диаметром от 0,35 до 1,56 *мм*.

Глава V

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА РЕМОНТА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА РЕМОНТА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

До разборки машины, если известно, что ее обмотки не требуют замены, проверяют сопротивление изоляции между фазами и относительно корпуса, устанавливают отсутствие витковых замыканий и обрывов, измеряют величину зазора в трех-четырех местах, с каждой стороны, по которому можно определить состояние подшипников и вала (прогиб и т. п.).

После разборки машины проверяют состояние активной стали, отсутствие смещения листов и распушения пакетов статора, якоря и сердечников полюсов, состояние пазов статора (или якоря возбудителя), отсутствие выступающих листов, наплывов и неровностей внутри пазов, исправность коллектора и контактных колец.

До начала обмоточных работ дополнительно проверяют общее состояние статора, якоря и сердечников полюсов, чтобы установить отсутствие в пазах заусениц и смещения пазов, деформации и загрязнения активной стали и т. д.

Во время заготовки и укладки пазов изоляции проверяют качество изоляционных материалов, размеры и форму пазов изоляции, правильность укладки ее и соответствие пазовой изоляции техническим требованиям.

При заготовке и укладке секций в пазы, а также при изготовлении полюсных катушек проверяют размеры и марку обмоточного провода, число витков в секциях и катушках, укладку секций в пазы, правильность формы и размеров полюсных катушек и насадки их на полюсные сердечники. Следят за тем, чтобы при укладке секций не перекрещивались проводники, а также за правильностью выхода секций из пазов, качеством выполнения и соответствием марки и сечений выводов обмотки и полюсных катушек и т. п. Вылет лобовых частей обмотки статора и якоря не должен превышать значения, указанного в расчетно-обмоточной записке (карте).

При пайке концов секций и изолировании лобовых частей проверяют схему соединения обмотки, надежность изоляции и крепления лобовых частей (сопротивление электродинамическим усилиям).

В отремонтированном статоре и якоре проверяют наружным осмотром качество намотки статора, сопротивление изоляции обмотки статора и якоря (мегомметром), изоляцию и качество лобовых соединений обмоток статора и качество соединений обмотки якоря и катушек возбуждения. Якорь с обмоткой проверяют на отсутствие обрывов в секциях, витковых замыканий в обмотке, правильность закладки концов секций в пластины коллектора (отсутствие «перекрещиваний» концов) и закладки концов секций в коллектор относительно паза с той же секцией. Затем наружным осмотром убеждаются в прочности бандажей на лобовых частях обмотки или на поверхности якоря.

У контактных колец ротора проверяют с помощью мегомметра отсутствие замыканий между контактными кольцами, электрическую прочность изоляции между кольцами и относительно корпуса, плотность контакта между кольцами и токоведущими шпильками, а также чистоту обработки рабочей поверхности контактных колец и отсутствие биения их. Проверяют состояние и размеры шеек вала по диаметру, их овальность и конусность, отсутствие трещин и изгиба вала по длине.

Посадочные места подшипниковых щитов и места посадки шариковых и роликовых подшипников контролируют после их обработки, а также после запрессовки ремонтных колец в местах установки подшипников. То же касается и состояния вновь изготовленных и исправных крепежных деталей, фланцев и т. д.

Проверяют качество сварочных швов приваренных лап, правильность подошвенной поверхности машин и неизменность расстояния между центрами отверстий для фундаментных болтов, качество изоляционных и покровных лаков, а в процессе пропитки и сушки обмоток — их режимы. Электрическую прочность изоляции обмоток проверяют повышенным напряжением 50 *герц*.

Во время сборки машин проверяют правильность посадки подшипников на вал и в корпус подшипниковых щитов, отсутствие перекосов подшипников, надежность крепления вентилятора, соответствие осевых и радиальных зазоров подшипников требуемым, наличие нормального осевого разбега ротора и якоря при подшипниках скольжения, равномерность зазора по окружности ротора и якоря.

Коллектор возбудителя обтачивают и шлифуют; обработка его соответствует $\nabla\nabla\nabla 8$. Биение коллектора должно быть не более 0,05 *мм*. При оборотах вала менее 1000 в минуту коллектор может работать удовлетворительно и при больших значениях биения (примерно до 0,1 *мм*).

После насадки коллектора на вал испытывают изоляцию между пластинами коллектора и изоляцию его относительно корпуса. Продолжительность испытаний изоляции между пластинами коллектора 2 *сек*. Независимо от номинального напряжения возбудителя в этом случае должно быть приложено испытательное

напряжение, зависящее только от толщины миканитовых прокладок между коллекторными пластинами (табл. 60).

Продолжительность испытания изоляции коллектора относительно корпуса составляет 1 *мин*, а испытательное напряжение должно быть при номинальном напряжении возбудителя до 150 *в* — 2,5 *кв* и от 150 до 400 *в* — 3 *кв*.

Таблица 60

Зависимость испытательного напряжения от толщины миканитовой прокладки

Толщина миканитовой прокладки (в *мм*) . . .	0,7	0,8	1,0	1,2
Испытательное напряжение (в *в*)	300	350	450	550

После закладки и осаживания нижнего слоя секций проверяют в течение 2 *сек* прочность изоляции между витками секций и коллекторными пластинами при напряжении 350 *в* вне зависимости от номинального напряжения возбудителя, а затем прочность изоляции секций относительно корпуса испытательным напряжением 2,5 *кв* при номинальном напряжении возбудителя до 150 *в* и 3 *кв* — при напряжении 150—400 *в*. Продолжительность этого испытания 1 *мин*.

После закладки и осаживания верхнего слоя секций и установки клиньев испытывают прочность изоляции между витками, секциями и корпусом. Испытательное напряжение определяют из расчета не менее 15 *в* и не более 25 *в* на один виток обмотки якоря при продолжительности приложения испытательного напряжения 20 *сек*.

Прочность изоляции секций верхнего слоя относительно корпуса проверяют испытательным напряжением 1,8 *кв* для возбудителей с номинальным напряжением до 150 *в* и 2,3 *кв* при номинальном напряжении возбудителя 150—400 *в*.

После пайки коллектора изоляцию между витками секций испытывают при том же напряжении (15—25 *в* на один виток обмотки якоря) в течение 20 *сек*, а изоляцию секций относительно корпуса напряжением 1,7 *кв* при номинальном напряжении возбудителя до 150 *в* в течение одной *мин*.

После пропитки якоря и шлифовки коллектора вновь проверяют прочность изоляции между витками секций испытательным напряжением из расчета 15—25 *в* на один виток обмотки якоря в течение 20 *сек*, а также секций относительно корпуса испытательным напряжением 1,6 *кв* и 1,9 *кв* при номинальном напряжении возбудителя до 150 *в* и 400 *в* соответственно.

Щеточное устройство находится в исправном состоянии, если давление щеток на коллектор или контактные кольца, проверяемое динамометром, соответствует заданной величине. Зазор между

щеткой и обоймой щеткодержателя должен находиться в пределах 0,1—0,2 *мм*.

Электрическую прочность изоляции статора и якоря возбудителя генератора проверяют после намотки (до пропитки) и, в случае необходимости, перед сборкой. Величину испытательного напряжения выбирают из расчета. $2U + 1000$ *в* для машин мощностью до 3 *квт* и $2U + 1000$ *в*, но не ниже 1500 *в* для машин мощностью более 3 *квт* (U — номинальное напряжение машины). Для обмоток, прошедших средний и малый ремонт, напряжение снижают на 50%.

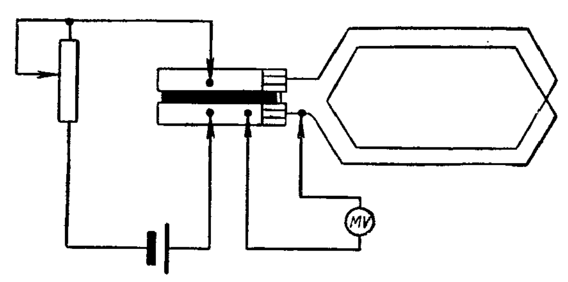


Рис. 153. Схема для проверки отсутствия обрыва или замыкания между коллекторными пластинами.

Испытательное напряжение должно быть переменным и иметь промышленную частоту. Испытание начинают с 30% напряжения, а затем доводят до полного значения. Изоляцию выдерживают под полным испытательным напряжением в течение 1 *мин*, после чего напряжение снижают до 30% своего значения и отключают. Изоляция считается удовлетворительной, если во время испытания не наблюдается пробоя.

Отсутствие виткового замыкания можно определять с помощью электромагнита — дефектоскопа. На один из пазов в расточку статора (поочередно на все пазы) накладывают электромагнит с катушкой, питаемой от сети переменного тока 120—220 *в*. В случае замыкания части витков в секции, лежащей в одном пазу, в замкнутых витках индуктируется ток, наличие которого определяют по магнитному потоку вокруг паза. Этот вторичный магнитный поток может быть обнаружен по притяжению или вибрации стальной пластинки, наложенной на данный паз или другой паз, отстоящий от него на величину шага секции.

Правильность соединения обмотки статора проверяют вертушкой (см. рис. 40). Обмотку статора подключают к трехфазной сети на пониженное (в 2—3 раза) напряжение. Вертушку помещают в расточку статора; при правильном соединении обмотки статора она вращается.

Правильность соединения катушек возбуждения определяют компасом, который подносят поочередно к каждому полюсу при

питании катушек от источника постоянного тока. При правильном соединении катушек полярность полюсов должна чередоваться.

Отсутствие обрыва или замыкания между пластинами и плохое качество пайки коллектора якоря проверяют милливольтметром (рис. 153). В случае замыкания соседних пластин показания мил-

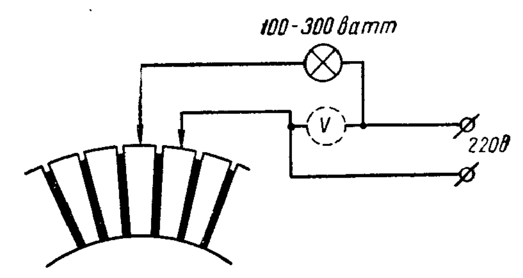


Рис. 154. Схема для проверки электрической прочности изоляции между пластинами коллектора.

ливольтметра будут равны нулю. При обрыве или плохой пайке показания будут наибольшими.

Изоляцию между пластинами коллектора проверяют до закладки концов секций в шлиц петушков коллектора по схеме, представленной на рисунке 154. Коллектор считают выдержавшим

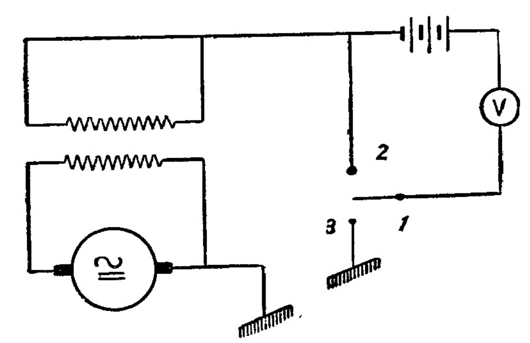


Рис. 155. Измерение сопротивления изоляции вольтметром.

испытание, если при прикосновении щупами к каждой паре рядом расположенных коллекторных пластин лампа не загорается.

Отсутствие «перекрещивания» концов секций выявляют после закладки концов секций в коллектор, но до пайки их. Схема та же, что и при проверке обрыва, качества пайки и замыкания между пластинами (рис. 153). Прикасаясь щупами к двум рядом расположенным коллекторным пластинам, наблюдают за показаниями милливольтметра, соблюдая последовательность прикосновения

первым и вторым щупами при перемещении их по коллектору. Если полярность на зажимах милливольтметра, определяемая направлением отклонения стрелки прибора, будет одной и той же на всех пластинах коллектора, то это подтвердит правильность выполнения закладки концов секций в коллектор.

«Перекрещивание» концов в какой-либо паре пластин коллектора обнаруживают по отклонению стрелки милливольтметра в противоположную сторону. Величина отклонений может быть неодинакова для различных пар пластин, вследствие разного переходного сопротивления контакта в петушках коллектора.

Правильность закладки концов в пластину коллектора определяют электромагнитом, который устанавливают параллельно пазу якоря, одновременно замыкая отрезком ножовочного полотна каждую пару пластин коллектора. Если после прикосновения к одному из двух пазов, расположенных на расстоянии шага, стальная пластинка притянется, то это подтвердит, что концы секции присоединены к пластинам правильно.

Сопротивление изоляции обмоток измеряют мегомметром. По нормам для машин с напряжением свыше 80 *в* применяют мегомметр на напряжение не ниже 500 *в*. Для проверки правильности показаний прибора присоединяют провода от щупов к зажимам «*з*» (земля) и «*л*» (линия). Один щуп соединяют с землей, а другой держат в воздухе. При быстром вращении ручки мегомметра стрелка его должна стоять на бесконечности. Для проверки отсутствия заземления прибора второй щуп ставят на корпус и медленно вращают ручку. Перемещение стрелки на нуль броском указывает на наличие замыкания на корпус.

При измерении сопротивления один конец провода от мегомметра присоединяют к корпусу, а другой — к коллектору якоря (см. рис. 49). При сопротивлении изоляции менее 0,6 *мегом* якорь следует просушить. Просушка якоря возбудителя или ротора генератора вместе с якорем возбудителя, находящимся на одном валу, должна продолжаться от 3 до 8 *час* при температуре 105—120°. Сопротивление изоляции после сушки в нагретом состоянии должно быть около 5 *мегом*. После просушки коллектор зачищают стеклянной шкуркой с помощью колодки.

Сопротивление изоляции измеряют двое: один прикасается щупами к частям, между которыми ведется измерение, а другой вращает ручку прибора и делает отсчет. Если проверяют изоляцию относительно корпуса, к нему присоединяют зажим «з». Вначале измерений ручку прибора вращают со скоростью 0,5—1 *об/сек* и доводят до 2,5 *об/сек*.

Сопротивление изоляции измеряют между обмоткой и корпусом. В случае низкого сопротивления изоляции следует найти слабое место, разъединить все обмотки и измерить сопротивление изоляции каждой секции.

Сопротивление изоляции генератора при температуре, близкой к рабочей, должно быть не менее значения, получаемого из формулы:

$$R = \frac{U}{1000 + 0{,}01P},$$

где R — сопротивление изоляции (в *Мом*);

U — номинальное напряжение обмотки машины (в *в*);

P — мощность машины (в *ква*).

Величина сопротивления изоляции обмоток машин в холодном состоянии не нормирована. Однако считают, что минимальная его величина при любой температуре должна быть не ниже 1000 *ом* на 1 *в* номинального (рабочего) напряжения машины.

Сопротивление изоляции обмоток можно проверить также вольтметром, если есть аккумулятор или сеть постоянного тока напряжением не ниже 220 *в*. Для более точного измерения вольтметр подбирают так, чтобы его собственное сопротивление было возможно выше при пределе измерений, близком к напряжению источника тока. Схема включения показана на рисунке 155. При пользовании этим способом следует иметь в виду возможность короткого замыкания и предварительно проверить вольтметром напряжение между «землей» и обоими проводами сети и заземлить провод, показывающий нуль или меньшее напряжение.

Для определения величины сопротивления изоляции измеряют напряжение между точкой *1* и точками *2—3*, т. е. измеряют падение напряжения в вольтметре (1—2) — $U_в$ и напряжение источника тока (1—2) — $U_с$, и тогда искомое сопротивление будет:

$$R_х = R_в\left(\frac{U_с}{U_в} - 1\right),$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра в *Момах*.

При работе со щупом соблюдают следующие правила. Чтобы проверить, в какую сторону отклоняется стрелка вольтметра, надо на мгновение прикоснуться к точкам измерения. Если у вольтметра с нулем в начале шкалы стрелка заходит влево за нуль, то надо переключить зажим вольтметра.

При последовательном включении вольтметра измеренное напряжение может быть мало. Нельзя переключать вольтметр под напряжением на другой предел измерений, так как этим можно повредить вольтметр. Лучше отключить сеть и подобрать вольтметр с подходящим сопротивлением.

Пример. $U_с = 220$ *в*, $U_в = 9{,}5$ *в*, вольтметр с добавочным сопротивлением $R_в = 100\,000$ *ом* $= 0{,}10$ *Мом*. Тогда имеем:

$R_х = 0{,}10\left(\frac{220}{9{,}6} - 1\right) = 2{,}2$ *Мома*.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии. Сопротивление обмоток измеряют у машины, находящейся в практически холодном состоянии,

под которым подразумевают температуру машин, отличающуюся на $\pm 3°$ от температуры окружающего воздуха.

Измерение сопротивления обмоток может быть выполнено двумя способами: с использованием моста или вольтметра и амперметра. Наиболее распространены мосты типов ММВ или ШМВ. Первые из них удобны и просты в обращении, но точность измерения не превышает 10%.

Схема простого моста состоит из трех известных сопротивлений r_1, r_2 и r_3, гальванометра и двух выключателей. Неизвестное сопротивление r_x включают в четвертое плечо моста. При определении

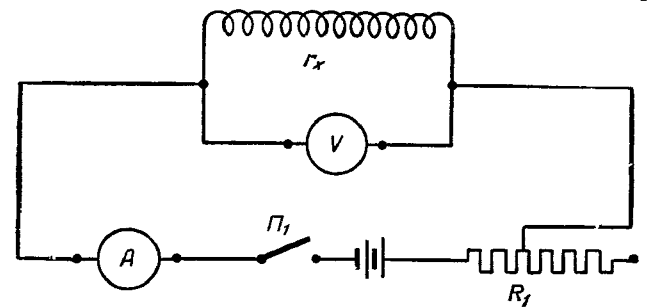


Рис. 156. Измерение сопротивления обмотки по способу «вольтметра-амперметра».

величины сопротивления r_x его сравнивают с известными, для чего замыкают выключателем $П_1$, цепь источника постоянного тока (аккумуляторной батареи), а затем включают в диагональ четырехугольника гальванометр G, добиваясь, чтобы он не давал показаний. Тогда искомое значение сопротивления можно определить из формулы:

$$r_x = \frac{r_1 \cdot r_3}{r_2} \ (ом).$$

Во избежание повреждения измерительного прибора делают небольшой разрыв во времени между включением выключателей $П_1$ и $П_2$.

Схема электрических соединений при измерении сопротивления обмоток по способу вольтметра и амперметра приведена на рисунке 156. Значение искомого сопротивления r_x определяют по формуле:

$$r_x = \frac{U}{I} \ (ом),$$

где U — падение напряжения, измеренное вольтметром;
I — ток, протекающий через сопротивление r_x.

Для установления определенного тока в измеряемой цепи служит регулировочный реостат R_1.

Измерения выполняют с помощью магнитоэлектрических приборов, например, вольтамперметров типа М-80, которые имеют

пределы измерений по напряжению от 45 *мв* до 300 *в* и по току от 0,15 до 30 *а*.

В качестве регулировочного устройства применяют проволочный реостат с ползунком на 4—8 *а* и 20—25 *ом*, для получения хорошего контакта при измерениях сопротивления обмоток — двойные щупы с неподвижным и подвижным контактами. Подвижные контакты присоединяют к источнику постоянного тока, а между неподвижными контактами щупов включают вольтметр. Таким образом, падение напряжения измеряют вольтметром спустя некоторый промежуток времени после того, как через обмотки пропущен ток. По окончании измерений вольтметр отключают от концов обмотки раньше, чем разрывается ток. Это защищает вольтметр от толчков электродвижущей силы самоиндукции, возникающей в обмотке при отключении тока.

Для получения правильных результатов измерений нужно соблюдать следующее:

а) каждое сопротивление измерять не менее трех раз при различных значениях тока;

б) если сопротивления измеряют в холодном состоянии, то за 15—20 *мин* до начала закладывают внутрь измеряемого объекта термометр, показания которого можно принять за температуру обмотки в момент измерения;

в) не следует переключать пределы измерения амперметра под током; измерения следует выполнять, начиная с наибольших пределов измерения обоих приборов; целесообразно выбирать такие пределы измерения приборов, чтобы во время проверки отклонения были менее чем на 40% шкалы, что обеспечит необходимую точность отсчетов.

Если показатели одного и того же сопротивления отличаются друг от друга более 1%, то измерения повторяют.

Значительные трудности возникают при измерении сопротивления обмоток возбуждения синхронных машин и возбудителей, обладающих высокой индуктивностью. Снятие показаний вольтметра осложнено тем, что малейшие изменения тока вызывают колебания стрелки. Надо использовать хорошо заряженную батарею и выполнить надежно все контакты в цепи измерительного тока. Большую пользу может принести замыкание накоротко другой обмотки, связанной общей магнитной цепью с испытуемой, например, обмотку статора, если измерения ведутся в цепи ротора.

Сопротивление обмоток роторов измеряют между контактными кольцами при неподвижном роторе и при поднятых щетках.

Сопротивление обмотки якоря возбудителя измеряют между соответствующими коллекторными пластинами. Одну из пластин принимают за первую, а за вторую, необходимую для измерения сопротивления, принимают отстоящую от нее на число пластин, определяемое из отношения $K : 2p$, где K — общее число коллекторных пластин, $2p$ — число полюсов машины. Если частное представляет дробь, то число пластин округляют до целого числа.

Если машина постоянного тока имеет простую петлевую обмотку без уравнительных соединений, то, как исключение, можно измерить сопротивление обмотки между любыми двумя пластинами, а за измеряемое сопротивление принять то, которое получается из отношения:

$$r = \frac{R}{p^2},$$

где R — сопротивление, полученное при измерении;

p — число пар полюсов машины.

Сопротивление обмотки определяют при температуре 15°. Для сравнения значений ранее измеренных сопротивлений с полученными при последующих измерениях их приводят к одной температуре с помощью следующих формул:

а) для обмоток из медных проводов

$$r_{15} = \frac{250}{235 + t} r_t \ (ом);$$

б) для обмоток из алюминиевых проводов

$$r_{15} = \frac{260}{245 + t} r_t \ (ом),$$

где t — температура обмотки во время измерения сопротивления ее;

r_t — измеренное сопротивление обмотки.

Отклонение измеренного сопротивления, приведенного к температуре 15°, от расчетного, полученного на заводе или указанного в расчетно-обмоточной карте более чем на 10%, может быть вызвано неправильным числом витков, неверным выбором сечения обмоточного провода, наличием короткозамкнутых витков в обмотке и плохими контактами между отдельными частями обмотки.

Испытание машин при повышенной скорости вращения. Назначение этого испытания заключается в том, чтобы проверить механическую прочность вращающихся частей и деталей, а также прочность бандажей против действия центробежных сил.

При повышении скорости вращения на 20% машина должна нормально работать в течение двух минут без вредных деформаций, обнаруживаемых внешним осмотром.

Для получения при испытаниях различного числа оборотов применяют специальную машину постоянного тока, работающую в качестве электродвигателя; увеличение числа оборотов можно получить повышением подводимого напряжения или снижением возбуждения.

Испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машин и между обмотками. Испытание изоляции обмоток относительно корпуса обязательно для каждой машины с замененной изоляцией. Это испытание выполняют при неподвижном состоянии машины.

Испытательное напряжение при проверке электрической прочности изоляции обмотки относительно корпуса и прочих обмоток должно быть переменным с частотой около 50 периодов в 1 секунду. Значения испытательного напряжения приведены в таблице 61.

Таблица 61

Значения испытательного напряжения

Наименование	Нормированное значение испытательного напряжения
Машины мощностью от 1 *ква* (1 *квт*) до 3 *ква* (3 *квт*) включительно при номинальном напряжении свыше 24 *в*	1000 *в* плюс двойное номинальное напряжение
Машины мощностью больше 3 *ква* (3 *квт*) при напряжении свыше 24 *в*	1000 *в* плюс двойное номинальное напряжение при минимуме в 1500 *в*

В том случае, когда произведен только ремонт обмотки без смены изоляции машины, следует провести испытания на электрическую прочность изоляции относительно корпуса напряжением, равным 130% номинального напряжения машины и не меньше 0,5 испытательного напряжения, указанного в таблице 61.

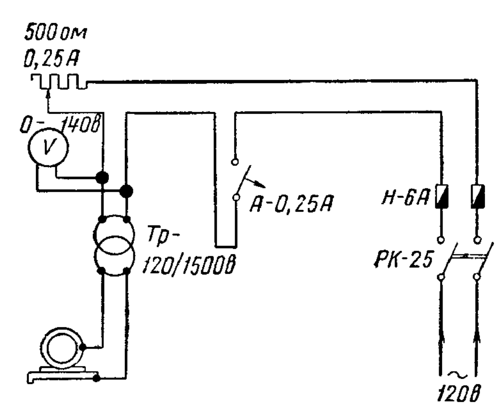


Рис. 157. Схема установки для испытания на электрическую прочность.

Если машину испытывают на нагревание, то электрическую прочность изоляции обмоток от корпуса проверяют сразу после этого испытания при температуре, близкой к рабочей температуре машины (рис. 157).

Испытанию изоляции относительно корпуса подвергается поочередно каждая электрически независимая цепь, для чего один полюс источника испытательного напряжения прикладывают к выводу обмотки, а другой — к заземленному корпусу машины, с которым на время испытания электрически соединяются все неучаствующие в испытании обмотки. Соединенные между собой трехфазные обмотки машин переменного тока считаются за одну цепь, если начало и конец каждой фазы не выведены к специальным зажимам. В этом случае испытывают всю трехфазную об-

мотку. При наличии выводов от начала и конца каждой фазы испытание изоляции относительно корпуса проводят поочередно для каждой фазы при присоединенных к корпусу прочих фазах.

В машине постоянного тока за независимую цепь считают обмотку якоря и последовательно соединенные с ней катушки дополнительных полюсов. Параллельно соединенные с обмоткой якоря катушки главных полюсов считаются также отдельными независимыми цепями. Испытание начинают с напряжения, не превышающего одной трети испытательного. Подъем до полного значения испытательного напряжения производят постепенно или ступенями, не превышающими 5% полного значения. Время для подъема испытательного напряжения до полного должно быть не менее 10 *сек*. Полное испытательное напряжение выдерживают в течение 1 *мин*, после чего снижают до одной трети и отключают. Результаты испытания изоляции от корпуса считаются удовлетворительными, если во время испытания не обнаружено пробоя изоляции.

При обслуживании установок высокого напряжения должны соблюдаться следующие правила техники безопасности:

а) работать надо в резиновых перчатках, стоя на резиновом ковре или на деревянной решетке на изоляторах (лучше в резиновых ботах);

б) все заземления должны быть обязательно выполнены;

в) измерительный вольтметр, включенный на стороне высокого напряжения, должен быть соединен с заземленным проводом, так как при ином соединении прибор будет находиться под полным напряжением относительно земли, что опасно для обслуживающего персонала;

г) автомат или заменяющая его сигнальная лампа должны быть исправны;

д) провод высокого напряжения должен быть недоступен для прикосновения, быть гибким, шланговым, удаленным от окружающих предметов и опускаемым только у объекта испытания;

е) запрещается находиться около испытываемой машины посторонним лицам.

Порядок проведения испытания. После нагрева машины все концы обмотки разъединяют, отключают провода и аппаратуру. Концы обмоток растягивают так, чтобы они были возможно дальше удалены от окружающих незаземленных металлических частей. Затем соединяют между собой и с корпусом все обмотки, кроме испытуемой, включаемой, как показано на схеме (рис. 157), после чего проверяют электрическую прочность изоляции обмотки относительно корпуса и других обмоток.

Требуемое испытательное напряжение получают следующим образом:

а) устанавливают движок регулируемого реостата в положение наибольшего сопротивления в цепи;

б) подключают гибкий высоковольтный шланговый провод от вторичной обмотки трансформатора к испытуемой обмотке;

в) включают рубильник и, наблюдая за показанием вольтметра, уменьшают сопротивление реостата и поднимают напряжение до требуемой величины. Это напряжение поддерживают в течение необходимого времени, после чего быстро уменьшают до нуля. Пробой изоляции отмечают по резкому падению напряжения в момент пробоя. Кроме того, если место пробоя доступно для наблюдения, то видны искры и слышен треск.

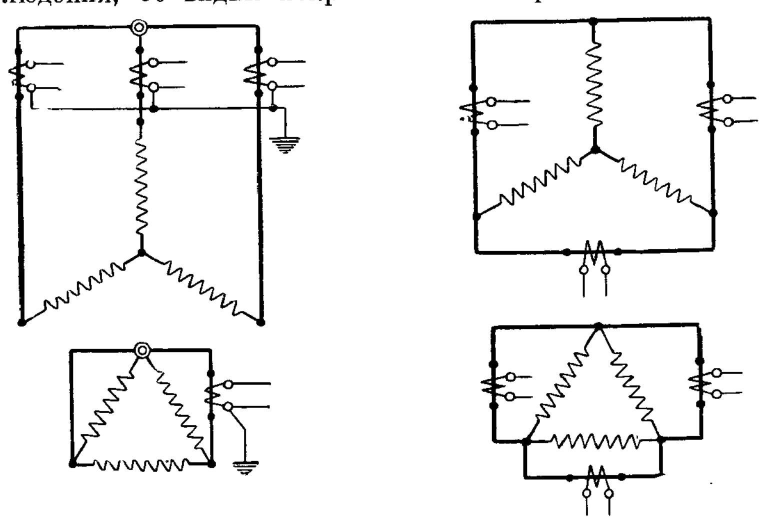


Рис. 158. Схема электрических соединений при симметричном коротком замыкании.

Испытанную обмотку соединяют с другими, а от них отъединяют и испытывают следующую.

Если при испытании не происходит пробоя и перекрытия, не наблюдается скользящих разрядов или резких изменений потребляемого тока, результаты испытания считаются удовлетворительными.

Испытательное напряжение при проверке электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками должно быть переменным с частотой 50 *гц*. Значение испытательного напряжения по ГОСТ 183—55 приведено в таблице 61.

При испытании электрической прочности изоляции щеточного устройства часто имеет место пробой по угольной пыли, осевшей на щеткодержателях и траверзе. В таких случаях следует очистить и продуть место пробоя и несколько раз повторить испытание с целью «прожечь» пыль.

Испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток электрических машин. После того, как машина приведена

во вращение, к ней подводят нормальное рабочее напряжение, постепенно повышают его до 130% от номинального и выдерживают в течение 5 *мин.* Такое напряжение достаточно, когда ток возбуждения получается бо́льшим, чем значение его, соответствующее номинальному режиму генератора. Если же ток возбуждения меньше номинального, то следует повышать напряжение генератора, пока это значение тока не будет достигнуто.

Если в генераторе ремонтировали только обмотку, но изоляция осталась старой, продолжительность испытания межвитковой изоляции на электрическую прочность сокращают до одной минуты. Повышение частоты во всех случаях должно быть не более 10%.

Испытание изоляции витков обмотки синхронного генератора проводят до испытания или после испытания ее при повышенной скорости вращения. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмотки якоря проводят после испытания возбудителя при повышенной скорости вращения. Во время испытания междувитковой изоляции обмотки якоря следует проверить напряжение между соседними коллекторными пластинами, которое при постепенном увеличении испытательного напряжения не должно превышать 24 *в* во избежание возникновения кругового огня на коллекторе.

Характеристика холостого хода генератора или зависимость напряжения на зажимах генератора от тока возбуждения при номинальной частоте и без нагрузки. Это испытание проводят после окончания испытания электрической прочности междувитковой изоляции, не останавливая генератор. Пределы измерения приборов должны быть примерно равны номинальным значениям измеряемых величин генератора. Первый отсчет можно сделать после выдержки наибольшего напряжения (например 130% номинального) в течение 5 *мин.* Затем, непрерывно понижая напряжение, снимают характеристику холостого хода (табл. 62).

Таблица 62

Значения напряжений

Номинальное напряжение (в *в*)	Напряжение при измерениях (в % от номинального)								
	130	125	120	110	100	80	70	50	30
120	156	150	144	132	120	96	84	60	36
220	286	275	265	240	220	185	155	110	65
380	494	475	455	420	380	325	265	190	115

Характеристика холостого хода должна быть снята только при непрерывном понижении напряжения и тока возбуждения, и если случайно во время этих испытаний почему-либо произойдет повышение тока возбуждения, то опыт надо повторить.

Число оборотов измеряют тахометром или частотомером и одновременно проверяют симметричность линейных напряжений генератора при одном и том же токе возбуждения, а также определяют порядок чередования фаз. Возбуждение испытываемого генератора во всех случаях производится от самостоятельного источника постоянного тока. После снятия характеристики холостого хода нужно разомкнуть цепь возбуждения и измерить величину напряжения от остаточного намагничивания.

Характеристика короткого замыкания устанавливает зависимость тока короткого замыкания генератора от тока возбуждения. Испытание начинают при значении тока короткого замыкания, несколько превышающего номинальный ток, и при постепенном понижении возбуждения.

Так как характеристика короткого замыкания генератора представляет прямую линию, то количество отсчетов (экспериментальных точек) может быть меньшим, чем при опытах холостого хода. Нужно сделать четыре-шесть отсчетов через равные интервалы токов возбуждения, а также отсчет при отключенном возбуждении.

Температуру обмотки определяют измерением ее сопротивления немедленно после окончания опыта короткого замыкания. Скорость вращения генератора может быть и не постоянной, так как характеристика короткого замыкания синхронного генератора практически не зависит от изменения скорости вращения в очень широких пределах.

Правильная схема соединений при симметричном коротком замыкании показана на рисунке 158 при сопряжении фаз генератора в звезду, измерении всех трех токов, сопряжении фаз в треугольник и измерении одного тока; иногда достаточно измерить один из трех линейных токов короткого замыкания.

Потери в стали, механические потери и потери короткого замыкания выполняют во время снятия характеристики холостого хода и короткого замыкания для машин, у которых во время ремонта был изменен хотя бы один из главных параметров: скорость вращения, номинальное напряжение, мощность и др. Механические потери определяют показаниями приборов, по которым можно подсчитать потребляемую мощность холостого хода, представляющую потери на трение в подшипниках и о воздух.

Если одновременно с характеристикой короткого замыкания определены потери короткого замыкания, то скорость вращения машины должна поддерживаться во все время испытаний на номинальном значении. Для определения скорости вращения генератора пользуются тахометром.

Испытания возбудителей. Для возбудителей обязательны следующие дополнительные испытания: проверка коммутации при кратковременной перегрузке по току и испытания при номинальной нагрузке возбудителя.

При кратковременной перегрузке по току проверяют механическую прочность соединений в лобовых частях обмоток машин, а в машинах постоянного тока — пригодность коллектора и щеток к работе. Величина перегрузки тока для синхронных генераторов составляет 50%, время испытаний — 15 *сек*; для возбудителей — 100%, время испытаний — 50 *сек*. Для различных машин перегрузку по току можно проводить в режиме короткого замыкания или при пониженном напряжении.

Оценка искрения производится по шкале, состоящей из пяти степеней искрения (ГОСТ 183—55). Первые три степени: 1; $1^1/_4$ и $1^1/_2$ допустимы по нормам для всех номинальных режимов работы машины, степень 2 допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузке, степень 3 является недопустимой, за исключением моментов прямого включения машин, если коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

Напряжение на зажимах цепи якоря при опыте перегрузки может быть понижено против номинального. Нагрузку возбудителя выполняют нагрузочным реостатом.

Испытание возбудителя при номинальной нагрузке проводят при установившемся тепловом состоянии отдельных частей машины. Это испытание сопровождается проверкой устойчивости коммутации возбудителя при номинальной нагрузке, а при необходимости определением внешней и регулировочной характеристик возбудителя в режиме нагрузки.

Внешняя характеристика показывает зависимость напряжения на зажимах цепи якоря возбудителя от тока, его нагрузки при постоянной скорости вращения и неизменном положении аппаратов, регулирующих напряжение. Внешнюю характеристику снимают при повышении нагрузки от холостого хода до номинальной или при понижении нагрузки от номинальной до холостого хода. При изменении нагрузки между двумя отсчетами надо исправлять скорость вращения.

Регулировочная характеристика возбудителя дает зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при условии постоянства скорости вращения и напряжения на зажимах цепи якоря. Эту характеристику определяют в пределах от холостого хода до 120—125% номинальной нагрузки. Регулировочную характеристику снимают при повышении и понижении нагрузки.

Определение одноименных выводов обмоток электрической машины. Иногда машины поступают на испытания с немаркированными выводами обмоток, связанными пучком; при испытаниях также обнаруживается, что выводы обмоток неправильно маркированы или неверно присоединены к зажимам на щитке машины.

Первый способ определения одноименных выводов фазных обмоток статоров заключается в следующем. Соединяют

последовательно две фазы обмотки, а к третьей присоединяют вольтметр. Если соединены разноименные выводы (рис. 159), то в третьей фазе будет индуктироваться э. д. с., почти равная подведенному от сети напряжению; если же соединены одноименные выводы двух фаз (рис. 160), то э. д. с. в витках третьей фазы индуктироваться не будет и приключенный вольтметр не даст показаний. Далее определяют выводы третьей фазы, для чего берут одну из фаз, выводы которой уже определены, и соединяют последовательно с третьей фазой. Этот метод определения одноименных выводов обмотки статора следует производить при пониженном напряжении, так как при последовательном соединении разноименных концов двух фаз ток в статоре при номинальном напряжении будет больше номинального на 50—70%.

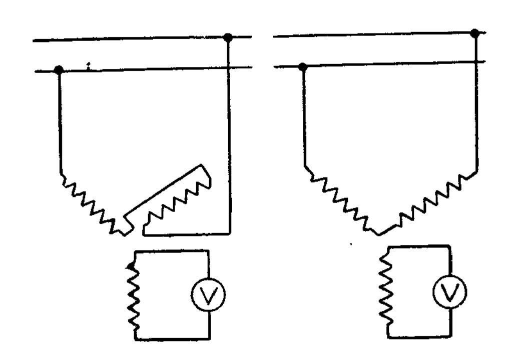


Рис. 159. Определение одноименных выводов фазных обмоток статоров (первый способ).

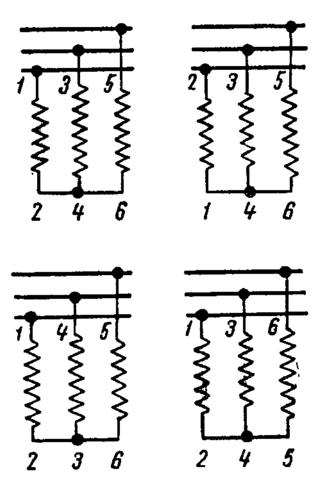


Рис. 160. Определение одноименных выводов обмоток статоров (второй способ).

По второму способу выводы обмотки статора обозначают произвольно: I фаза — 1 и 2; II фаза — 3 и 4; III фаза — 5 и 6.

После этого соединяют в звезду выводы 2—4—6, а к выводам 1—3—5 подводят пониженное напряжение. Если машина сильно гудит и токи во всех трех фазах значительно отличаются друг от друга, а в отдельных фазах при холостом ходе достигают большого значения, то соединение фаз сделано неверно. Тогда следует поменять местами выводы 1 и 2 первой фазы, т. е. соединить в звезду выводы 1—4—6, а к выводам 2—3—5 подвести напряжение. Если при таком переключении ошибка не будет устранена, то выводы первой фазы ставят на прежнее место и поочередно меняют местами выводы второй фазы (3 и 4) и третьей (5 и 6). Наибольшее число возможных пересоединений равно четырем, как показано на рисунке 160.

2. ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА РЕМОНТА И ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При намотке катушек проверяют марку и размеры провода, внешние и внутренние размеры катушки, число витков и прочность витковой изоляции.

Испытание витковой изоляции отдельных секций обмотки продолжается 5 *мин* при напряжении 2 $U_н$.

После насадки обмоток на магнитопровод, шихтовки и временной сборки отводов, но до запайки концов проверяют качество сборки магнитопровода и правильность числа витков. Для этого мегомметром проверяют сопротивление изоляции стяжных болтов (шпилек) и прочность изоляции приложенным напряжением переменного тока в 1000 *в* в течение 1 *мин*, а также определяют коэффициент трансформации обмоток и ток холостого хода.

Перед сушкой повторно определяют коэффициент трансформации, группу соединений, омическое сопротивление обмоток на всех ответвлениях, измеряют сопротивление изоляции, а во время сушки проверяют влажность изоляции в зависимости от температуры.

Фарфоровые изоляторы выводов испытывают до установки приложенным испытательным напряжением.

Перед установкой выемной части в кожух, но после присоединения отводов к переключателю и выводам и опрессовки обмоток окончательно испытывают изоляцию стяжных шпилек, определяют коэффициент трансформации и группу соединений, омическое сопротивление обмоток на всех отводах, качество сборки сердечника, присоединения отводов, заземления магнитопровода, крепления конструкций и т. д.

С целью проверки правильности выполнения схемы соединения обмоток и измерения потерь в них определяют (после запайки всех выводов) группу соединений обмоток трансформатора, измеряют омическое сопротивление обмоток, а также потери в них по опыту короткого замыкания трансформатора (вне кожуха).

Перед установкой выемной части на место тщательно осматривают кожух, крышку, уплотняющие прокладки и другие детали трансформатора.

В программу контрольных испытаний трансформаторов (ГОСТ 401—41 и ГОСТ 3484—55) входят: испытание расширителя, кожуха и уплотнений, проверка состояния масла, измерение сопротивления изоляции обмоток, сопротивления обмоток и сопротивления и электрической прочности изоляции стяжных шпилек и магнитопровода, проверка электрической прочности изоляции обмоток и фарфоровых выводов, испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность, проверка коэффициента трансформации, правильности схемы и группы соединений обмоток, испытания трансформатора на холостом ходу (ток и потери холостого хода) и при коротком замыкании (ток и потери короткого замыкания).

При капитальном ремонте иногда вносят изменения в конструкцию трансформатора и заменяют некоторые материалы, что отражается на его характеристиках. Поэтому отремонтированный трансформатор должен быть в таких случаях проверен на нагрев.

Перед началом испытаний в собранном и залитом маслом трансформаторе осматривают кожух, расширитель, арматуру, изоляторы, крышку, уплотняющие прокладки и выявляют их состояние, правильность установки, качество чистки и отсутствие других дефектов, а также проверяют качество выполнения всех работ, предусмотренных при ремонте трансформатора.

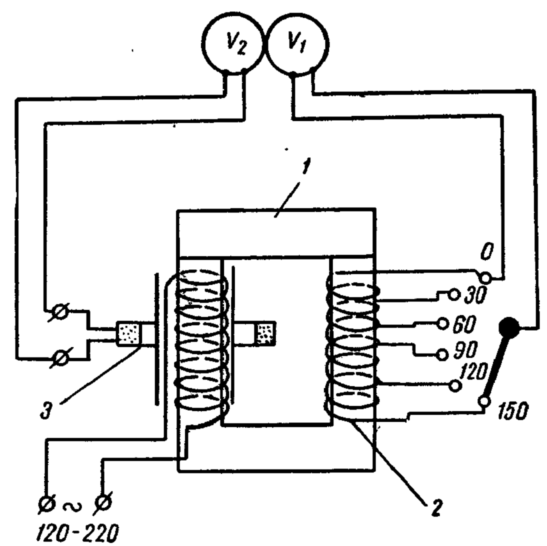


Рис. 161. Проверка числа витков в катушках трансформатора:

1 — съемное ярмо; 2 — эталонная катушка; 3— испытуемая катушка.

Число витков в катушках проверяют с помощью прибора, работающего по принципу трансформатора (рис. 161).

Основная часть прибора — сердечник со съемным верхним ярмом. На одном стержне магнитопровода надета катушка возбуждения (75—150 витков), которая питается от сети 120—220 *в*, на втором — эталонная катушка (150 витков) с четырьмя дополнительными промежуточными выводами, отпаянными через каждые 30 витков.

Испытуемую катушку надевают на стержень с насаженной катушкой возбуждения, концы ее присоединяют к вольтметру, имеющему с вольтметром эталонной катушки одинаковую шкалу и точность измерения, устанавливают на место и закрепляют верхнее ярмо. После этого включают под напряжение катушку возбуждения и переводом переключателя на различные ступени

ответвлений эталонной катушки устанавливают удобное для подсчета числа витков напряжение на первом вольтметре.

Число витков катушки определяют по формуле:

$$n_к = \frac{U_к}{U_э} n_э,$$

где $n_э$ — число витков эталонной катушки, при котором вольтметр дает показание $U_э$;

$U_к$ — показание вольтметра, подключенного к концам катушки.

При большом количестве витков может иметь место высокое напряжение, поэтому не следует надевать на сердечник две или несколько испытуемых катушек.

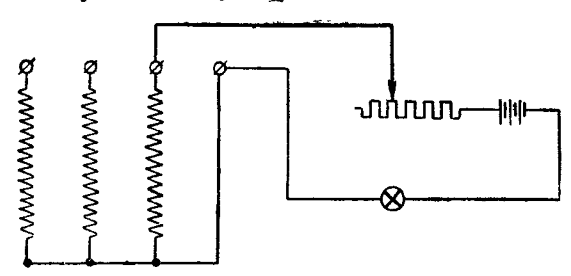


Рис. 162. Проверка отсутствия обрыва в обмотке.

Обрыв обмотки определяют пропусканием через обмотку постоянного тока низкого напряжения (например от аккумулятора 4—5 *в*). Прибором, регистрирующим отсутствие обрыва в обмотке, может служить трехвольтовая лампочка от карманного электрического фонаря или прибор постоянного тока со шкалой.

Каждую фазу обмотки испытывают отдельно, что не представляет затруднений, если обмотка соединена звездой и нулевая точка доступна (рис. 162). При другой схеме соединений нужно создать доступ к нулевой точке звезды или, если обмотка соединена треугольником, прервать на время испытаний соединения между обмотками.

Для проверки правильности обозначения зажимов обмотки достаточно проследить, на какие стержни и в каком направлении намотана обмотка.

Найти стержни трансформатора, которым соответствует та или иная обмотка, не представляет особых затруднений, если осмотреть выемную часть. Для проверки обозначения зажимов не обязательно знать направление намотки каждой обмотки. Зажимы считаются обозначенными правильно, если первичная и вторичная обмотки одного стержня намотаны в одном и том же направлении, так как при возникновении или исчезновении магнитного потока в стержнях в обмотках будут индуктироваться электро-

движущие силы, направленные в обеих обмотках одинаково. Это позволяет проверить обозначения зажимов обмоток каждого стержня трансформатора.

Схема испытания для проверки обозначений зажимов $A - X$ и $a - x$ обмоток первого стержня представлена на рисунке 163. Трансформатор намагничивают пропусканием постоянного тока через одну из обмоток второго или третьего стержня. Направление тока в намагничивающей обмотке безразлично. Величину намагничивающего тока регулируют реостатом так, чтобы она составляла 1—2% полной нагрузки трансформатора. К проверяемым зажимам присоединяют вольтметры V_1 и V_2 магнитоэлектрической системы,

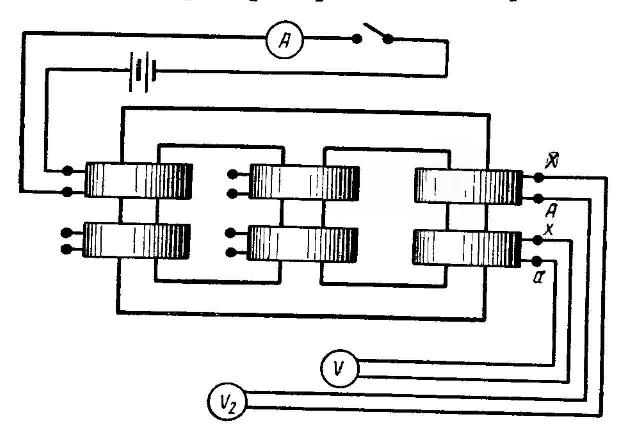


Рис. 163. Проверка правильности обозначений зажимов обмотки.

пригодные только для измерений в цепях постоянного тока и дающие полное отклонение на всю шкалу при токе 3—5 *ма*. Добавочное сопротивление, монтируемое внутри каждого вольтметра, должно быть зашунтировано. Оба вольтметра присоединяют так, чтобы плюсовый зажим каждого был соединен с началом (или соответственно с концом) обмотки.

Если в момент замыкания или размыкания рубильником намагничивающей цепи оба вольтметра дают мгновенное отклонение в одну сторону, то проверяемые зажимы обозначены правильно. В противном случае зажимы, соответствующие началу и концу у одной из проверяемых обмоток, следует поменять местами. Обозначение зажимов следует сначала сделать произвольно, затем можно проверить одним вольтметром, подключая его поочередно к каждой из обмоток.

Так как величина отклонений вольтметров будет пропорциональна величине магнитных потоков в стержнях, то, сравнивая величину мгновенных отклонений вольтметров, можно установить, на каком стержне находится та или иная обмотка. Вольтметры дают при замыкании цепи мгновенные отклонения в одну

сторону, а при размыкании — в другую, поэтому нужно пользоваться приборами с нулем в середине шкалы.

Вновь изготовленные обмотки испытывают на прочность витковой изоляции специальным прибором, состоящим из сердечника со съемным ярмом, обмотки возбуждения с отпайками и с известным напряжением на один виток, изоляционного барьера и подкладки (рис. 164). Обмотку с известным рабочим напряжением на один виток (по расчету) помещают на свободный стержень трансформатора, а необходимое двойное испытательное напряжение получают при подведении напряжения к обмотке возбуждения прибора. Витковое замыкание можно определить по местному нагреву, после отключения прибора от сети.

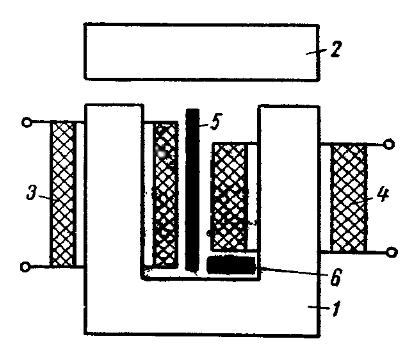


Рис. 164. Устройство для испытания прочности витковой изоляции:

1 — магнитопровод; 2 — съемное ярмо; 3 — обмотка возбуждения; 4 — испытываемая обмотка; 5 — изоляционный барьер; 6 — изоляционная подкладка.

Кожух, расширитель и уплотнения (подкрышечные, фланцевые и др.) испытывают на герметичность после заполнения трансформатора маслом при избыточном давлении столба масла высотой 0,6 *м* для трубчатых и гладких баков и 0,3 *м* для волнистых баков. Давление создается присоединением к расширителю трубки диаметром 18—22 *мм* с воронкой (рис. 165), заполненной маслом. На трансформаторах без расширителей трубку с воронкой присоединяют к крышке трансформатора. Трубку заполняют на необходимую высоту маслом и в таком положении выдерживают трансформатор в течение 0,5 *часа*, а затем проверяют отсутствие течи из кожуха и из уплотнений, сливают масло из трубки и снимают ее. Этим испытанием проверяют также исправность маслоуказателя.

Электрическую прочность масла проверяют с помощью аппаратов типа АМИ-60 или ТУ-235.

Изоляционное (трансформаторное) масло должно отвечать следующим требованиям: для трансформаторов с напряжением 6 и 10 *кв* электрическая прочность должна быть не менее 30 *кв*, а с напряжением ниже 6 *кв* — 25 *кв*; отсутствие механических примесей, взвешенного угля, водорастворимых кислот и щелочей; цвет (по цветной шкале) — до 6 баллов; содержание органических кислот (кислотное число) на 1 *г* масла не более 0,07—0,1 *мг* KOH, температура вспышки — не ниже 135°.

Анализ масла на пробой включает определение электрической прочности, проверку отсутствия воды, механических примесей, взвешенного угля и цвета. Масло наливают в фарфоровую банку емкостью 0,5—0,75 *л*, дают отстояться в течение 10 *мин* и

с промежутками в 5 *мин* производят шесть пробоев (первый пробой масла не считают). Средняя величина, полученная из пяти испытаний, характеризует электрическую прочность масла; одновременно проверяют прозрачность, для чего масло наливают в пробирку диаметром 30—40 *мм* и охлаждают до 5°; если оно не помутнеет, то результаты испытания положительные.

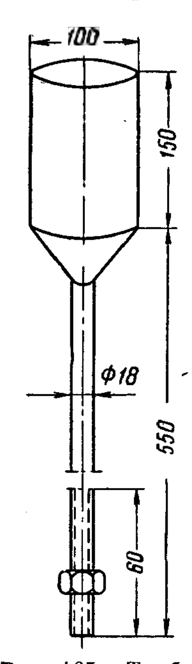


Рис. 165. Трубка для испытания кожуха трансформатора избыточным давлением (размеры в *мм*).

Присутствие в масле взвешенной влаги устанавливают так. Масло наливают в чистую пробирку, банку или стакан и опускают в него раскаленный стальной стержень диаметром 3—5 *мм*. При отсутствии характерного потрескивания масло признается сухим. Крупные капли влаги в масле обнаруживают после отстоя в течение 15—20 *мин*.

Сопротивление изоляции обмоток измеряют мегомметром 1000 *в*.

Сопротивление изоляции обмоток трансформатора зависит от температуры и состояния масла, степени увлажненности изоляции и температуры обмоток. Сопротивление изоляции обмоток считается недостаточным, если величина его снизилась на 30% и более по сравнению с предыдущими испытаниями или заводскими данными. Минимально допустимая одноминутная величина сопротивления изоляции обмоток напряжением от 3 до 10 *кв* после ремонта приведена в таблице 63.

Кратность отношения $K_{аб} = \frac{R_{60}''}{R_{15}''}$ не должна быть менее 1,3. По мере увлажнения изоляции абсолютное значение сопротивления изоляции, а также и отношение $K_{аб} = \frac{R_{60}''}{R_{15}''}$ уменьшается с увлажнением изоляции.

Таблица 63

Допустимая одноминутная величина сопротивления изоляции обмоток

При температуре обмотки (в градусах)	10	20	30	40	50	60	70	80
Сопротивление (в мегомах)	900	450	225	120	60	35	20	10

Отношение емкости, измеренной прибором ПКВ при температуре 15—20° и при частоте 2 *гц*, и емкости, измеренной в тех же условиях, но при частоте 50 *гц* для трансформаторов с не-

увлажненной изоляцией, не должно выходить за нижние пределы — 1,25—1,3.

Температуру, при которой производится испытание, измеряют термометром в верхних слоях масла трансформатора через 6 *час* после заливки трансформатора маслом. Схема испытания сопротивления изоляции представлена на рисунке 166.

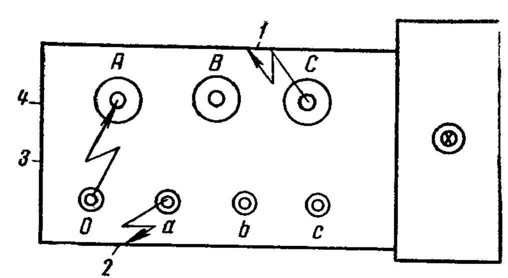


Рис. 166. Испытание сопротивления изоляции мегомметром:

1 — обмотка ВН; корпус—земля; *2* — обмотка НН; корпус — земля; *3* — обмотка НН; обмотка ВН; *4* — крышка трансформатора с выводами.

Сопротивление обмоток при постоянном токе измеряют способом вольтметра и амперметра. Схема измерения омического сопротивления обмоток трансформаторов при постоянном токе представлена на рисунке 167.

В таблице 64 приведены заводские показатели сопротивлений обмоток трансформаторов и величины тока при их измерении, по которым можно ориентировочно рассчитать падение напряжения в обмотке и выбрать шкалу вольтметра. Измеренные величины сопротивления обмоток должны незначительно (до $\pm$ 5%) отличаться от них. Кроме того,

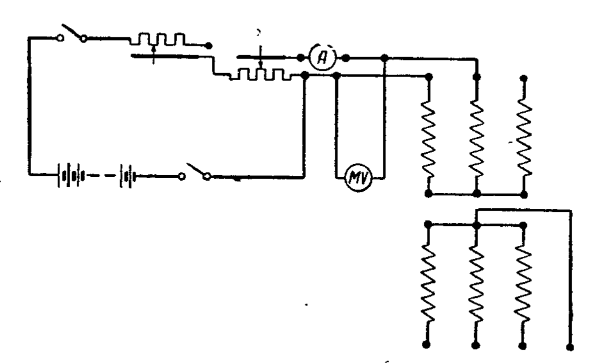


Рис. 167. Проверка сопротивления обмоток трансформатора.

результаты замеров по отдельным фазам сопоставляются между собой по всем ступеням переключателя ответвлений. Измеренные омические сопротивления обмоток отдельных фаз трансформатора не должны отличаться друг от друга более 3—5%.

В стяжных шпильках ярма и стержнях проверяют сопротивление изоляции и ее электрическую прочность.

Сопротивление изоляции шпилек проверяют мегомметром 1000 *в* и полученные результаты сравнивают с зарегистрирован-

ными ранее. Измеренное сопротивление изоляции стяжных шпилек не должно быть менее 65% величины, полученной при заводских испытаниях или при испытаниях, произведенных при сдаче трансформатора в эксплуатацию. Если таких материалов нет, то пользуются следующими данными Мосэнерго: для трансформаторов, длительно находящихся в эксплуатации, напряжением до 6 *кв* — 2 *Мома* и напряжением от 6 до 10 *кв* — от 2 до 5 *Мом*.

Таблица 64

Сопротивление обмоток трансформаторов

Мощность трансформатора (в *ква*)	Примерное значение фазовых сопротивлений в зависимости от напряжения обмотки (в *омах*): напряжение обмотки (в *кв*) 10	6	3	рекомендуемая величина тока при измерении (в *а*)	напряжение обмотки (в *в*) 400	230	130	рекомендуемая величина тока при измерении (в *а*)
5	180	100	50	0,1	—	—	—	2,0
10	140	80	40	0,3	0,12	0,06	0,04	2,0
20	100	50	25	0,3	0,08	0,03	0,02	2,0
30	60	35	20	0,5	0,06	0,02	0,01	2,0
50	35	20	10	1,0	0,03	0,01	0,007	3,0
75	20	12	6	1,0	0,01	0,008	0,004	3,0
100	14	8	4	1,0	0,008	0,005	0,003	5,0
135	18	6	3	1,0	0,008	0,005	0,003	5,0
180	7	4	2	2,0	0,006	0,003	0,001	5,0

Таблица 65

Испытательные напряжения для обмоток трансформаторов

Наименование	Номинальное напряжение обмоток (в *кв*): до 2	3	6	10
I. После капитального ремонта со сменой обмоток:				
а) трансформаторы отечественные (МТЗ и др.) — 90% от заводского испытательного напряжения	—	16	22	31
б) трансформаторы, для которых неизвестно заводское испытательное напряжение	6	9	11	18
II. После капитального ремонта без смены обмоток:				
а) отечественные трансформаторы — 75% от заводского испытательного напряжения	—	13	19	26
б) трансформаторы, для которых неизвестно заводское испытательное напряжение	5	8	10	16
III. Заводское испытательное напряжение для отечественных трансформаторов (МТЗ)	—	18	25	35

Электрическую прочность изоляции стяжных шпилек проверяют переменным током напряжением 1000 *в* в течение 1 *мин.* Схема испытания показана на рисунке 168. Для удобства и безопасности испытания напряжение на шпильку подают штангой длиной 0,8—1,0 *м*, изготовленной из бакелита или гетинакса. Если изоляция исправна, то после включения рубильника и подведения испытательного напряжения к шпильке лампа не загорится. Вместо лампы в цепь первичной обмотки трансформатора может быть включен вольтметр, который покажет резкое падение напряжения при неудовлетворительной изоляции шпильки.

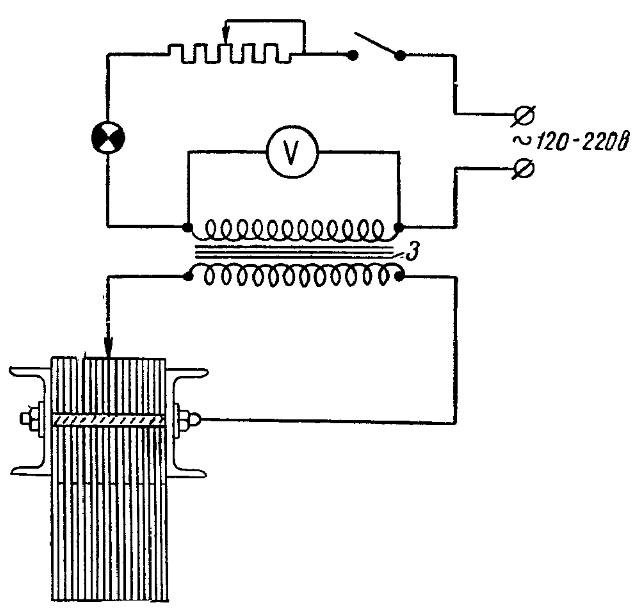


Рис. 168. Проверка электрической прочности изоляции шпилек.

Прочность изоляции между обмотками и изоляции обмоток по отношению к корпусу проверяют повышенным напряжением. Испытательное напряжение выбирают в зависимости от смены обмотки и изоляции трансформатора. Длительность приложения испытательного напряжения во всех случаях составляет 1 *мин.*

Испытательные напряжения для обмоток трансформаторов приведены в таблице 65.

Обмотки низшего напряжения силовых трансформаторов (до 0,4 *кв*) испытывают приложенным напряжением переменного тока: после капитального ремонта без смены обмоток — 75% от заводского испытательного напряжения, после капитального ремонта со сменой обмоток — 90%; при отсутствии заводских показателей — 2 *кв.*

Схема испытания электрической прочности изоляции трансформаторов приведена на рисунке 169. Включение повышенного напряжения (не более 30% от полного испытательного) может быть сделано толчком. После испытания снижают напряжение до 30% его величины и отключают трансформатор.

Так как необходимая мощность трансформатора для испытания должна быть не менее 0,5—1% мощности испытуемого трансформатора, то для всех высоковольтных испытаний изоляции трансформаторов мощностью до 180 *ква* можно использовать аппарат ТУ-235 или АМИ-60, снабженный соответствующими высоковольтными выводами.

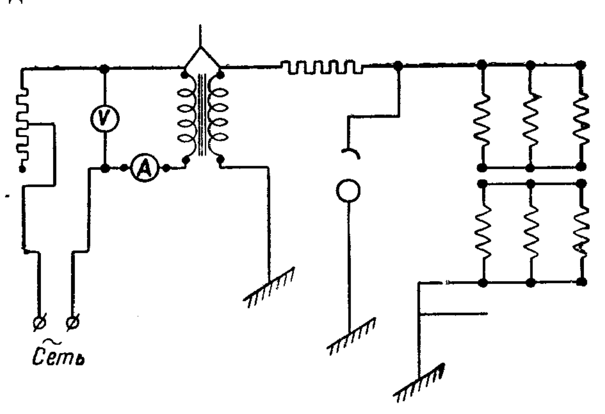


Рис. 169. Испытание электрической прочности изоляции трансформаторов.

Результаты испытания считаются удовлетворительными, если не произошло пробоя изоляции, перекрытий и скользящих разрядов, отмеченных приборами в виде роста величины тока и падения напряжения. Целесообразно до и после испытаний электрической прочности изоляции проверить сопротивление изоляции мегомметром.

Прочность изоляции фарфоровых выводов трансформаторов до 10 *кв* по ГОСТ 1516—42 проверяют приложением в течение 1 *мин* испытательных напряжений, указанных в таблице 66.

Таблица 66

Испытательные напряжения для установок (в *кв*)

Номинальное напряжение	Наибольшее рабочее напряжение	Испытательное напряжение для установок	
		внутренних	наружных
3	3,5	24	27
6	6,9	32	35
10	11,5	42	46

Приведенные напряжения следует использовать при испытаниях новых, отремонтированных и бывших в эксплуатации изоляторов (рис. 170).

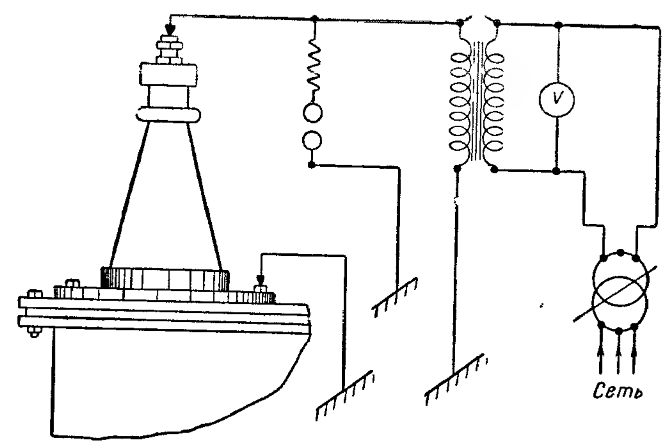


Рис. 170. Испытание фарфоровых выводов на электрическую прочность.

Межвитковую изоляцию обмоток на электрическую прочность испытывают в течение минуты на холостом ходу трансформатора при напряжении в 1,3 раза более номинального с частотой 50 *гц*.

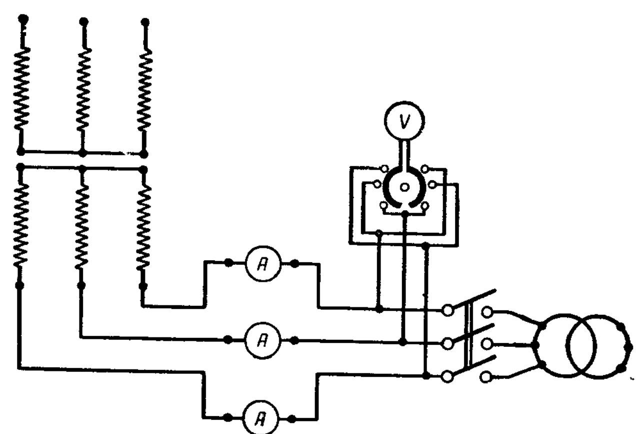


Рис. 171. Испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность.

Состояние межвитковой изоляции обмотки считается удовлетворительным, если во время испытания не произошло разрядов и не наблюдались толчки тока на приборах. Схема испытания электрической прочности изоляции витков обмотки повышенным напряжением дана на рисунке 171.

Проверка коэффициента трансформации (рис. 172) сводится к получению отношения чисел витков вторичной и первичной обмотки (на всех ответвлениях). Напряжение от сети подводят к обмотке высшего напряжения.

Так как линейное напряжение $U_л$ при соединении обмоток трансформатора в звезду равно $U_л = \sqrt{3}\,U_ф$, а в треугольник $U_л = U_ф$, где $U_ф$ — фазовое напряжение, то для различных соединений обмоток коэффициент трансформации K будет равен при соединении Y/Y — $U_1 : U_2$; Δ/Δ — $U_1 : U_2$; Y/Δ — $1{,}73 \cdot (U_1 : U_2)$;

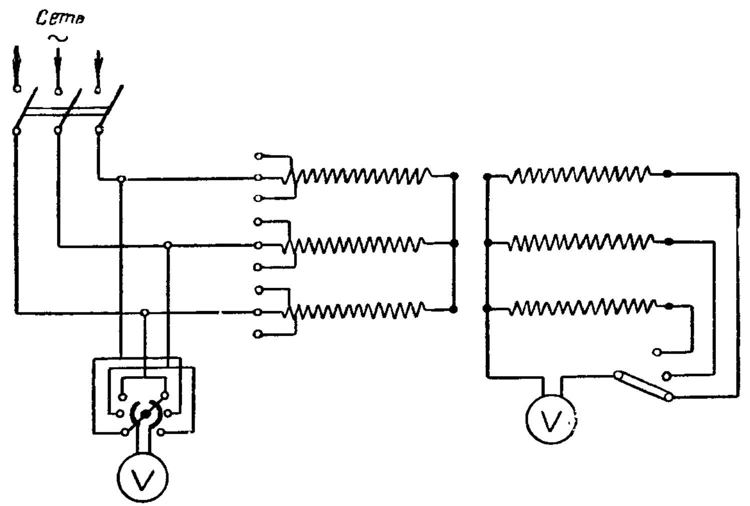


Рис. 172. Проверка коэффициента трансформации.

Δ/Y — 0,576 ($U_1 : U_2$), где U_1 и U_2 — напряжения на зажимах обмоток высшего и низшего напряжений. Допустимые отклонения коэффициентов трансформации на разных ответвлениях не должны превышать $\pm 0{,}5\%$ от номинальных значений.

Если коэффициент трансформации проверяют до установки выемной части в кожух, то следует снизить подводимое напряжение не менее чем в три раза против номинального напряжения обмотки.

Правильность схемы и группы соединений обмоток устанавливают так. Если первичные обмотки соединены в звезду и одна фаза перевернута, а вторичные обмотки соединены правильно (в звезду или в треугольник) и остаются ненагруженными, то ток в перевернутой фазовой обмотке будет в 2—4 раза больше номинального. Ток в правильно соединенных фазах будет примерно в 2 раза меньше, чем в перевернутой фазе, напряжение на зажимах перевернутой фазы повысится как с первичной, так и с вторичной стороны трансформатора, примерно, в 2,5 раза против номинального значения.

Если первичная обмотка трансформатора с одной перевернутой фазой соединена в треугольник, то при включении трансформатора в трехфазную сеть по двум линейным проводам, примыкающим к перевернутой фазе, устремляется ток, в десятки раз больший, чем при полной нагрузке трансформатора (режим, близкий к режиму короткого замыкания). По третьему линейному проводу будет протекать ток небольшой величины. Поэтому, если трансформатор не защищен плавкими предохранителями или автоматическими выключателями, обмотка перевернутой фазы может сгореть. Необходимо после восстановления обмоток проверить правильность обозначения зажимов фазовых обмоток и соединение их между собой. Включение под напряжение нужно производить осторожно, предварительно обеспечив надежную защиту обмоток трансформатора от возможных повышенных токов плавкими предохранителями.

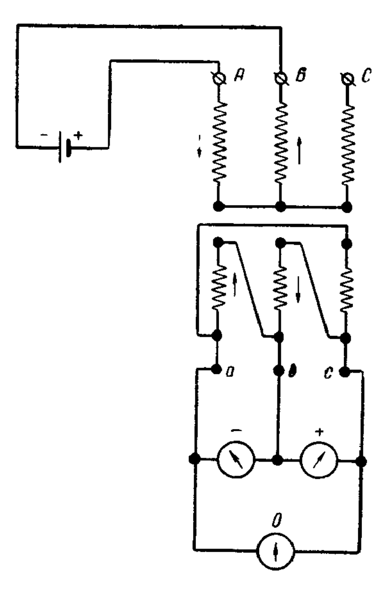


Рис. 173. Схема проверки группы соединений обмоток.

Наиболее простым способом определения группы соединения обмоток является способ с использованием прибора постоянного тока для указания направления тока в отдельных обмотках (рис. 173). К двум зажимам обмотки высшего напряжения присоединяют источник постоянного тока, затем прибором с нулем в середине шкалы отмечается направление отключения стрелки. Группу соединений определяют сопоставлением полученных данных с приведенными в таблице 67, в которой приняты следующие обозначения для направления отклонения стрелки прибора: плюс — вправо, минус — влево, нуль — отклонение отсутствует.

При испытаниях на холостом ходу проверяют величину тока холостого хода i_{xx} и потерь холостого хода P_{xx}. Эти величины обычно приводятся в каталогах заводов, изготовляющих трансформаторы. Ток холостого хода i_{xx} трансформаторов напряжением до 10 *кв* и мощностью до 180 *ква* изменяется в пределах 6—10% от номинального, а потери P_{xx} колеблются в пределах 60—1200 *вт* в зависимости от мощности их.

Для проведения опыта подводят к обмотке низшего напряжения номинальное напряжение, а обмотку высшего напряжения оставляют разомкнутой. Подведенное напряжение во время испытаний должно оставаться постоянным. Ток холостого хода трансформа-

тора равен среднеарифметическому от суммы токов, показанных амперметрами (рис. 174):

$$i_{xx}=\frac{i_1+i_2+i_3}{3}.$$

Измеренный ток холостого хода не должен превышать показатели заводских испытаний более 40%; напряжение отдельных фаз не должно отличаться друг от друга более 5%. Потери холостого хода при измерении по схеме двух ваттметров равняются сумме показаний приборов. Трансформатор считается выдержавшим испытание, если измеренные потери холостого хода отличаются не более 25% от номинальных данных.

Таблица 67

Обозначения для направления стрелки прибора при определении группы соединений

Схема	Группа	Зажимы, где приключен прибор	Зажимы обмотки высшего напряжения, к которым подводится постоянный ток		
			АВ	ВС	АС
Y/Y	12	ав	+	—	+
		вс	—	+	+
		ас	+	+	+
Y/Δ	11	ав	+	—	0
		вс	0	+	+
		ас	+	0	+
Y/Δ	5	ав	—	+	0
		вс	0	—	—
		ас	—	0	—
Y/Y	6	ав	—	+	—
		вс	+	—	—
		ас	—	—	—

По результатам испытания трансформатора при коротком замыкании можно судить о возможности включения его на параллельную работу. Во время испытания определяют напряжение и потери короткого замыкания при температуре трансформатора 75°. Схема включения остается такой же, как на рисунке 174, но все зажимы обмотки высшего напряжения замыкают накоротко перемычкой. Для повышения точности результатов напряжение подводят к обмотке высшего напряжения, а обмотку низшего замыкают накоротко. Величину искомого подводимого напряжения короткого замыкания устанавливают такой, чтобы ток в обмотке низшего напряжения был равен номинальному.

Если испытания проведены при напряжении и токе, отличных от номинальных, то приведение значения напряжения короткого замыкания к номинальному выполняют по следующей формуле:

$$e_{\text{к}}=\frac{U_1\cdot I_{\text{н}}}{U_{\text{н}}\cdot I_1}\cdot e'_{\text{к}},$$

где $e_к$ — напряжение короткого замыкания, полученное в результате испытаний;

$e'_к$ — номинальное значение напряжения короткого замыкания для трансформатора;

$U_н$ — напряжение, при котором надо производить испытания (в *в*);

U_1 — напряжение, при котором было проведено испытание (в *в*);

$I_н$ — номинальный ток трансформатора (в *а*);

I_1 — ток, полученный во время испытаний при напряжении U_1 (в *а*).

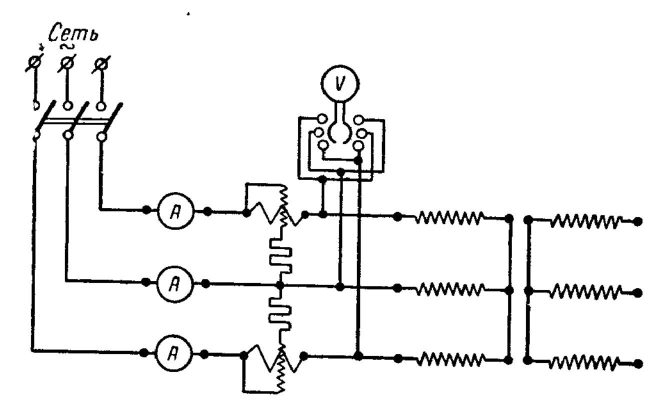


Рис. 174. Испытание трансформатора на холостом ходу.

Если испытания проведены не при температуре 75°, величину потерь короткого замыкания приводят к потерям при температуре 75° по формуле:

$$P_{75} = P_t \frac{310}{235 + t},$$

где P_t — измеренные потери;

t — температура, при которой проводились испытания.

По ГОСТ 401—41 для трансформаторов напряжением до 10 *кв* и мощностью до 180 *ква* напряжение и потери короткого замыкания составляют соответственно 5,5% и 335—4100 *вт*. Если измеренные величины отличаются не более ± 10% от заводских, трансформатор передают в эксплуатацию.

Во время проверок и испытаний электрооборудования приходится выполнять измерения таких величин, как время, скорость вращения и температура. Для этого могут быть использованы простые приборы, дающие необходимую точность результатов.

Измерения значительных промежутков времени. Когда нет надобности иметь большую точность результатов, можно использовать песочные часы, рассчитанные на 1, 2, 3, 5, 10 и 15 минут.

Такие часы можно использовать, например, при испытаниях изоляции повышенным напряжением.

Более точно промежутки времени могут быть измерены секундной стрелкой ручных часов или секундомером.

Измерение скорости вращения машины. Скорость вращения измеряют центробежным тахометром с широким диапазоном измеряемых чисел оборотов в минуту (до 10 000 *об/мин* и более), для чего он снабжен коробкой скоростей, позволяющей установить необходимый предел скорости вращения. Основные указания, которыми следует руководствоваться при использовании центробежного тахометра, сводятся к следующим: наконечник тахометра должен быть прижат к валу точно вдоль его оси лишь в течение того промежутка времени, который необходим для получения результата; предел измерений не следует переключать на ходу тахометра.

При испытаниях электрических машин необходимо знать **температуру окружающего воздуха.** Измерение производится следующим образом. Для того чтобы исключить влияние на показания термометра кратковременных изменений температуры окружающей среды, берут сосуд с пробкой, заполненный трансформаторным, машинным или другим маслом. Термометр заделывают в пробку так, чтобы ртутный шарик был полностью погружен в масло, а термометр не касался дна сосуда. Для большей точности определения температуры устанавливают два сосуда с термометрами на уровне 0,5 *м* от пола и на расстоянии 1—2 *м* от места, где производятся испытания (с обеих сторон машины). За расчетную температуру окружающего воздуха принимают среднюю из показаний двух термометров.

Температуру обмоток определяют так: ртутный шарик термометра обвертывают в несколько слоев фольгой, устанавливают термометр на место для измерения температуры, прикрывают ватой или ветошью, но чтобы она не попала между ртутным шариком и нагретой частью оборудования. За температуру испытуемой части машины принимают наибольшую температуру, отмеченную термометром.

Для измерения температуры частей машины, недоступных термометрам, используют термопару из изолированной медной и голой константановой проволоки диаметром 0,3—0,5 *мм*, скрученных вместе и спаянных на одном из концов на длине 3—5 *мм*. Для измерения применяют магнитоэлектрический вольтметр с внутренним сопротивлением не менее 100 *ом*. Градуировка термопар и вольтметра производится вместе с термометром, к шарику которого плотно привязывают место спая термопары. Шарик термометра и спай термопары погружают в сосуд с нагретым до 120° маслом. При медленном охлаждении масла через каждые 5—10° наносят на шкалу вольтметра соответствующую температуру. Полученная шкала на вольтметре будет действительна только для данной термопары и измерительного прибора. Особое

преимущество перед термометром имеют термопары при измерениях внутренних температур обмоток и активной стали (сердечники, магнитопроводы и т. д.).

Для определения температуры обмотки по сопротивлению, измеренному при этой температуре, пользуются следующими расчетными формулами:

для обмоток, выполненных из медных проводов,

$$t = 250 \frac{r_t}{r_{15}} - 235;$$

для обмоток, выполненных из алюминиевых проводов,

$$t = 260 \frac{r_t}{r_{15}} - 245,$$

где r_t — измеренное сопротивление обмотки при температуре, которую надо определить;

r_{15} — известное сопротивление обмотки при температуре 15°.

3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОРЕМОНТНЫХ РАБОТАХ

Электрические установки относятся к низкому напряжению, если напряжение любого из проводов по отношению к земле не превышает 250 *в*. При большем напряжении установки относятся к высокому напряжению. Электроустановки и пускорегулирующие электроаппараты напряжением свыше 60 *в* подлежат обязательному заземлению. Особо опасные с точки зрения возможности поражения током установки, кроме заземления, должны быть ограждены и иметь предупредительные плакаты. Обслуживающий персонал этих установок должен иметь резиновые коврики.

К обслуживанию электроустановок напряжением более 250 *в* допускаются только специально обученные и имеющие соответствующую квалификационную группу работники, признанные медицинским освидетельствованием здоровыми.

Допуская к работе или переводя с одной работы на другую, руководитель (мастер, начальник смены и др.) обязан подробно ознакомить работника с правилами внутреннего распорядка, с особенностями данного рабочего места, электроцеха, а также указать на недопустимые приемы работы.

Все операции по строплению или зачаливанию транспортируемого оборудования и других грузов должны выполняться специально обученными рабочими. При погрузке трансформаторов по наклонной плоскости надо захватывать тросом за нижнюю и верхнюю раму во избежание опрокидывания трансформатора. Подъем собранного трансформатора за кольца, предназначенные для подъема выемной части, не допускается.

При выполнении слесарных работ для силового электрооборудования предусматривается следующее:

1) слесарные молотки должны быть прочно укреплены на деревянных ручках, поверхность бойка не должна иметь сбитых граней;

2) нельзя применять зубила и крейцмейсели с косыми и сбитыми гранями ударяемой поверхности; зубило должно быть длиной не менее 150 *мм*, а оттянутая часть его — 60—70 *мм*; острие зубил и крейцмейселей следует затачивать под углом 65—75° и режущая кромка зубил должна иметь прямую или слегка выпуклую линию;

3) пользование напильниками и другими инструментами без ручек воспрещается;

4) ручки монтерского инструмента, при работе в условиях низкого напряжения, должны быть изготовлены из изолирующего материала длиной не менее 100 *мм* или покрыты изолирующим материалом;

5) запрещается класть включенный или нагретый паяльник на деревянные верстаки и столы во избежание пожара;

6) помещение, в котором производится пайка, должно быть снабжено общей или местной вентиляцией;

7) при пайке электродуговым паяльником надо надевать очки с защитными стеклами, предохраняющие глаза от вредного действия электрической дуги;

8) при намотке бандажей нужно следить за тем, чтобы ротор был надежно закреплен в центрах бандажировочного станка, а также остерегаться, чтобы пальцы рабочего не попали под витки наматываемой на ротор бандажной проволоки;

9) испытания электрической прочности изоляции высоким напряжением должны проводиться на специальном огражденном месте, а испытательный стенд должен быть снабжен сигнальными лампами, предупреждающими о включении высокого напряжения.

При работе на пропиточных участках (отделениях) нужно выполнять следующие требования:

1) лаки и эмали для пропитки хранить в подвале в стационарной, прочной и герметически закрытой посуде; запас лака и растворителей, находящихся в помещении по пропитке и сушке, не должен превышать количества, потребного для работы одной смены;

2) содержание в воздухе паров растворителей лаков и эмалей не должно превышать 0,1 *мг/л*;

3) применение открытого огня и курение вблизи сосудов с изоляционными лаками и в помещениях для пропитки и сушки обмоток запрещается.

При поражении человека электрическим током его надо немедленно освободить от действия тока и сделать искусственное дыхание, являющееся первым способом возвращения пострадавшего к жизни и, кроме того, обязательно вызвать врача.

Глава VI

ПРОВЕРОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ ОБМОТОК

1. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

При отсутствии заводских данных обмоток электрических машин необходимо делать упрощенный проверочный расчет обмотки.

Для расчетных величин пользуются следующими обозначениями: B — индукция в зазоре (максимальная), $B_{сп}$ — индукция в спинке стали статора (средняя), $B_з$ — индукция в зубце (максимальная), $U_ф$ — фазовое напряжение (в *в*), p — число пар полюсов, z_1 — число пазов в статоре, $D_р$ — диаметр расточки (в *см*), L — длина пакета стали статора (в *см*), $S_п$ — число активных проводников в пазу, β — обмоточный коэффициент, определяемый для наиболее частых случаев при двухслойной обмотке с укороченным шагом из соответствующей таблицы. Для однослойной обмотки можно принять $\beta = 0,96$, h — высота тела статора (в *см*), k_1 — отношение активной длины пакета стали статора (без радиальных вентиляционных каналов) к его общей длине, $t_м$ — ширина зубца в самом узком месте (в *см*), AS — линейная плотность тока (в *а/см*), I — ток в одной параллельной цепи обмотки статора (в *а*), Δ — плотность тока в обмотке статора (в *мм*²); q_a — сечение проводов обмотки статора (в *мм*²), $k_з$ — коэффициент заполнения паза; Q — площадь сечения паза (в *мм*²).

Для расчета ремонтируемого электродвигателя записывают его заводской паспорт и определяют число полюсов двигателя по формуле:

$$2p = \frac{6000}{n},$$

где n — число оборотов вала машины в 1 минуту; определяют и записывают сопряжение фаз обмотки (звезда, треугольник) и тип ее, число катушечных групп в фазе и их соединение, общее число проводников в пазу и число параллельных проводов, размер и марку голого провода и с изоляцией, размеры вылетов лобовых частей, число пазов на статоре и роторе; определяют основные размеры активной стали, пазов статора и ротора двигателя. Это делают после удаления старой обмотки, остатков изоляции, подтеков лака, грязи и ржавчины.

Внутренний диаметр расточки статора определяют микрометрическим штихмассом или штангенциркулем. При диаметрах

расточки до 300 *мм* можно применять кронциркуль. Диаметр расточки измеряют между серединами двух противоположных зубцов.

Наружный диаметр статора $D_н$ получают как сумму измерений диаметра расточки и толщины статора h (вместе с зубцами):

$$D_н = D_р + 2h.$$

Полную длину статора L, включая радиальные каналы, определяют измерительной линейкой или стальным метром. Чтобы исключить ошибки из-за распушения концов зубцов, измерения производят не по головкам зубцов, а по дну пазов. Определяют также число радиальных каналов n_s и ширину их b_s.

Наружный диаметр ротора D_2 также измеряют кронциркулем или штангенциркулем.

Высоту спинки статора h_1 определяют по формуле:

$$h_1 = h - h_з = 0,5\,(D_н - D_р - 2h_з),$$

где $h_з$ — высота зубцов статора.

Высоту спинки ротора $h_р$ определяют по формуле:

$$h_р = 0,5\,(D_2 - D_{вн} - 2h'_з),$$

где $D_{вн}$ — внутренний диаметр пакета роторов;
$h'_з$ — высота зубцов ротора.

В небольших двигателях внутренний диаметр ротора равен диаметру вала, а в двигателях с вентиляционными аксиальными каналами — диаметру окружности, охватывающей каналы.

Форму и размеры паза определяют по снятому циркулем-измерителем свинцовому оттиску; вместо свинца можно применять мягкий картон. Высоту паза определяют глубиномером.

Индукцию в воздушном зазоре определяют по формуле:

$$B = \frac{2,6 \cdot U_ф \cdot p \cdot 10^6}{z_1 \cdot D_р \cdot L \cdot S_п \cdot \beta} \ (гс).$$

Индукция в спинке стали статора:

$$B_{сп} = 0,55 \cdot \frac{B}{p} \cdot \frac{D_р}{n} \ (гс).$$

Индукция в зубцах:

$$B_з = K_1 \cdot \frac{3,4 \cdot B \cdot D_р}{t_м\, z_1}.$$

Значения индукции в зазоре, спинке стали статора и зубцах указаны в таблице 68.

Меньшие значения индукции в воздушном зазоре B предназначены для электродвигателей меньших мощностей.

При расчете проверяют также линейную плотность тока — AS *а/см*, плотность тока в обмотке статора — Δ *а/мм*^{2} и коэффициент заполнения паза $k_{зап}$.

Таблица 68

Значения индукции в зазоре, спинке стали статора и зубцах

Наименование	Обозначение	Пределы значений (в *гс*)
Индукция в воздушном зазоре	B	5 500—7500
Индукция в спинке стали статора	$B_{сп}$	13 000—17 000
Индукция в зубцах	$B_з$	14 000—20 000

Линейная плотность тока:

$$AS = 0{,}35 \frac{I \cdot S_п \cdot z_1}{D_р} \ (а/см).$$

Плотность тока в обмотке статора:

$$\Delta = \frac{I}{q_a} \ (а/мм^2).$$

При определении плотности тока для круглых и прямоугольных проводов можно пользоваться следующими формулами.

Плотность тока в обмотке:

а) для круглого провода

$$\Delta = \frac{1{,}274 \cdot I}{(2a) \cdot b \cdot d} \ (а/мм^2),$$

где $2a$ — число параллельных цепей обмотки;
b — число параллельных проводов;
d — диаметр голого провода (в *мм*);

б) для прямоугольного провода

$$\Delta = \frac{I}{(2a) \cdot b \cdot Q} \ (а/мм^2),$$

где Q — сечение голого провода (в $мм^2$) или гибкого провода; $Q = (0{,}76—0{,}82)\ N \cdot M$ (N и M — высота и толщина провода).

Допустимые значения плотности тока в обмотке статора:

$$\Delta_1 = 3 - 7 \ а/мм^2.$$

Допустимое значение плотности тока в обмотке ротора:

$$\Delta_2 = 4{,}5 - 6{,}5 \ а/мм^2.$$

Большие значения плотности тока относятся к машинам открытого исполнения с хорошей вентиляцией или к машинам с кратковременной нагрузкой; малые значения — к закрытым машинам.

Обмоточный коэффициент при двухслойной обмотке с укороченным шагом определяют из таблицы 69.

Таблица 69

Обмоточный коэффициент при двухслойной обмотке с укороченным шагом

Число пазов на полюс и фазу	2	3	3	3	4	4	5
Укорочение шага	$\frac{5}{6}$	$\frac{8}{9}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{9}{12}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{12}{15}$
Обмоточный коэффициент	0,92	0,95	0,90	0,93	0,89	0,94	0,91

При расчете принимают:

AS — 90—400 *а/см* (для больших мощностей); для машин мощностью до 10 *квт* AS = 90—250 *а/см* и более 10 *квт* — AS = = 150—400 *а/см*;

Δ — от 3 до 7 *а/мм*^{2} (для больших сечений проводов принимают меньшие значения);

$k_{зап}$ — от 0,3 до 0,4 при круглых проводах и от 0,4 до 0,55 при стержневых обмотках.

Произведение $AS\Delta$ должно находиться в пределах от 1000 до 2200. Так как это произведение характеризует нагрев двигателя, то для хорошо вентилируемых машин можно допускать бо́льшие, а для закрытых машин меньшие значения.

В том случае, когда одновременно с перемоткой машины изменяют рабочее напряжение двигателя $U_{ф_1}$ на $U_{ф_2}$, должно быть соблюдено следующее условие:

$$U_{ф_1} : U_{ф_2} = S_{п_1} : S_{п_2}.$$

При расчетах следует учитывать, что с увеличением числа полюсов ухудшается вентиляция двигателя, а это влечет за собой необходимость снижения величины произведения $AS\Delta$, при уменьшении числа полюсов может чрезмерно увеличиться величина $B_{сп}$; обычно уменьшают индукцию B в зазоре и увеличивают число активных проводников в пазу.

Число эффективных проводников в пазу определяют с точностью до $\pm$ 5% по формуле:

$$N_{эф} = \frac{2{,}6 \cdot p \cdot U \cdot 10^{-8}}{z \cdot D_р \cdot L \cdot B \cdot \beta},$$

где $N_{эф}$ — число эффективных проводников катушки в пазу;
p — число пар полюсов;
U — линейное напряжение (в *в*);
z — число пазов машины;
$D_р$ — диаметр расточки (в *см*);
L — длина пакета активного железа (в *см*);
B — индукция в зазоре (в *гс*);
β — обмоточный коэффициент, определяемый в зависимости от числа пазов на полюс и фазу и укорочения шага.

Располагая основными конструктивными размерами машины, определяют «площадь поперечного сечения зазора» (площадь полюсного деления) и устанавливают число последовательно соединенных витков обмотки в одной фазе для современных типов электродвигателей (*P*, *AD*, *MA*, *AT* и др.) и для электродвигателей старых типов (*R*, *PRV*, *И*, *ИЗО*, *TAГ* и др.) с фазным напряжением 220 *в* (рис. 175).

Когда известно число последовательно соединенных витков одной фазы, можно рассчитать число эффективных проводников,

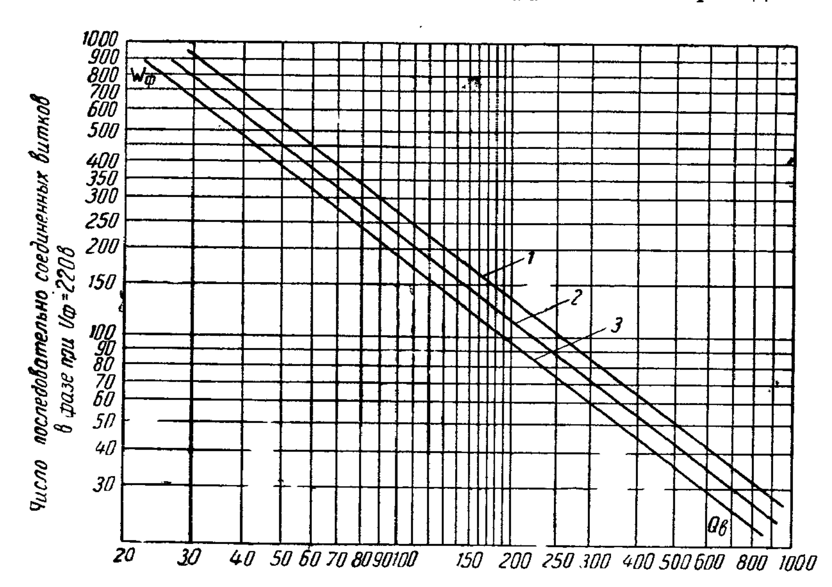


Рис. 175. График для определения числа последовательно соединенных витков в фазе.

приходящихся на один паз и, задавшись коэффициентом заполнения его, определить сечение и диаметр проводника без изоляции, а также мощность двигателя.

Расчет обмоточных данных электродвигателей старого и нового типов показан на следующем примере. Электродвигатель не имеет заводской таблички, но по внешнему виду относится к двигателям старых типов: *PRV*, *И*, *R*. Напряжение принято равным $U_1 = 220/380$ *в*, синхронная скорость — 1000 *об/мин* и число полюсов $2p = 6$. Геометрические размеры железа статора: диаметр расточки $D_р = 40{,}1$ *см*; длина железа $L = 24{,}0$ *см*, высота тела (ярма) $h_с = 7{,}5$ *см*, площадь паза $Q_п = 705$ *мм*², число прямоугольных пазов $z = 54$, фазное напряжение электродвигателя $U = 220$ *в*.

Площадь полюсного деления:

$$Q_в = \frac{2{,}14 \cdot D_р \cdot L}{2p} = \frac{2{,}14 \cdot 40{,}1 \cdot 24}{6} = 504 \text{ см}^2.$$

По верхней наклонной линии графика (рис. 175) устанавливают число последовательно соединенных витков обмотки одной фазы при $Q_в = 504$ *см*² равным $W = 50$.

Для проверки возможности выполнения машины с принятым числом полюсов (в данном случае $2p = 6$) и в особенности при отсутствии старых данных об электродвигателе нужно проверить магнитную индукцию в теле статора (ярме) по приближенной формуле:

$$B_{сп} = \frac{10^8}{2 \cdot Q_с \cdot W},$$

где $Q_с$ — сечение ярма, определяемое из выражения:

$$Q_с = h_с \cdot L = 7{,}5 \cdot 24 = 180 \text{ см}^2$$

и тогда

$$B_{сп} = \frac{10^8}{2 \cdot 180 \cdot 50} \approx 5600 \text{ гс}.$$

Значение магнитной индукции $B_{сп}$ должно быть менее 10 000—15 000 *гс*. Если в результате расчета индукция получилась немного больше указанного значения, нужно увеличить число последовательно соединенных витков обмотки одной фазы. И, наоборот, если она оказалась значительно меньшей, следует уменьшить число витков и вновь произвести проверку. Значительное расхождение между расчетным и рекомендуемым значениями индукции указывает на неправильный выбор числа полюсов для машины.

При уменьшении числа витков W до 40 получим $B_{сп} = 7000$ *гс*.

Число эффективных проводников, приходящихся на один паз, получается равным:

$$N_{эф} = \frac{6 \cdot W}{z} = \frac{6 \cdot 40}{54} \approx 4{,}5.$$

Коэффициент заполнения паза выбирают с учетом формы паза и типа обмотки по таблице 70.

Таблица 70

Выбор коэффициента заполнения паза

Форма паза	Тип обмотки	Коэффициент заполнения паза $k_{зап}$	
Трапециевидный или прямоугольный с небольшим закруглением в углах	Двухслойная	0,24	0,29
	Однослойная	0,25	0,31
Овальный с очертанием по дуге окружности на дне и у вершины	Двухслойная	0,25	0,31
	Однослойная	0,29	0,35

При однослойной обмотке среднее значение $k_{зап}$ можно принять равным 0,28, тогда сечение меди всех проводников в пазу будет:

$$Q_м = k_{зап} \cdot Q_п = 705 \cdot 0{,}28 \approx 200 \ мм^2.$$

Сечение каждого последовательно соединенного проводника без изоляции должно быть равным:

$$q' = \frac{Q_м}{N_{эф}} = \frac{200}{4{,}5} \approx 45 \ мм^2.$$

Практически невозможно выполнить мягкую секцию из проводников с таким сечением (диаметром 7,6 *мм*). Для изготовления мягкой секции применяют провода с диаметром не более 2,5—3 *мм*, так как иначе их трудно укладывать в пазы. Провода с большим сечением дробят на 2—4 и более параллельных проводников. Если раздробить полученное сечение меди на шесть параллельных проводников:

$$q = \frac{q'}{6} = \frac{45}{6} = 7{,}5 \ мм^2,$$

то такое сечение (7,306 $мм^2$) будет соответствовать стандартному проводу диаметром 3,05 *мм*, а с изоляцией марки ПБД диаметр провода будет 3,38 *мм*.

Зная число витков и сечение провода, выбирают изоляцию и размещают в одном опытном пазу расчетное число проводников в виде отдельных нарезанных кусков провода соответствующего диаметра. Если проводники не размещаются в пазу, то коэффициент заполнения был завышен. В этом случае уменьшают число витков или диаметр провода. Чрезмерно свободное размещение проводников в пазу свидетельствует о том, что число витков занижено или взято меньшее сечение провода.

Если фазное напряжение отличается от 220 *в*, то и в этом случае можно пользоваться графиком, приведенным на рисунке 175, но последовательно соединенные витки в фазе надо пересчитать по формуле:

$$W = W_1 \frac{U_1}{220},$$

где W — число витков по графику;

W_1 — новое число витков, соответствующее напряжению U_1;

U_1 — фазное напряжение машины, отличное от 220 *в*.

При фазном напряжении 120 *в* число витков в фазе будет равно:

$$W_1 = 40 \cdot \frac{120}{220} \approx 22.$$

Для определения мощности электродвигателя надо рассчитать номинальный ток статора, используя для расчета плотность тока, приведенную в таблице 71.

Таблица 71

Плотность тока для определения мощности электродвигателя

Исполнение машин	Плотность тока Δ (в $a/мм^2$)
Закрытые, невентилируемые	2,0—3,5
Закрытые, обдуваемые	3,5—4,5
Защищенные, с радиальной вентиляцией .	4,5—6,5
Защищенные, с усиленной вентиляцией .	6,5—8,0

Если принять для электродвигателя закрытого типа без вентиляции среднее значение плотности тока в 2,5 $a/мм^2$, то номинальный ток статора будет:

$$I = q'\Delta = 6 \cdot 7{,}306 \cdot 2{,}5 = 110 \ a.$$

Вольтамперная мощность двигателя равна:

$$P' = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}{1000} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 110}{1000} = 72 \ \text{ква}.$$

Чтобы определить полезную мощность на валу электродвигателя, можно принять значение коэффициента полезного действия и коэффициента мощности по каталогу для аналогичных машин.

Если $\eta = 0{,}90$ и $\cos\varphi = 0{,}87$, тогда полезная мощность на валу двигателя будет равна:

$$P = P' \cdot \eta \cdot \cos\varphi \ \text{квт}$$

или

$$P = 72 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}87 \approx 56 \ \text{квт}.$$

Катушечные (фазные) обмотки, применяемые для статоров асинхронных электродвигателей, могут быть выполнены при следующих значениях числа пазов на полюс-фазу:

$$q = \frac{z}{6p},$$

где q — любое целое число.

Это условие выполняется при $z = 72$ и $p = 3$:

$$q = \frac{72}{6 \cdot 3} = 4.$$

Катушечные обмотки могут быть выполнены с заполнением всех пазов обмоткой при условии, что $\frac{z}{6} = \gamma$ и равно целому числу, а $\frac{2\gamma}{t}$ равно целому числу, где γ — число катушечных групп в фазе, а t — общий наибольший делитель для z и p. Например, если $z = 72$, $2p = 6$ и $p = 3$, то $\gamma = 12$; общий наибольший делитель $t = 3$ и, следовательно, $\frac{2\gamma}{t} = \frac{24}{3} = 8$.

Кроме того, катушечные обмотки могут быть выполнены для обмоток с пропущенными пазами, если z и p числа взаимно простые, при условии, что $z = 6\gamma + \alpha$, здесь α определяется как $\frac{z}{3t} = \frac{6\gamma + \alpha}{3t}$, последнее равно целому числу, где α — число пропущенных пазов (обычно 3). Это условие может быть удовлетворено, если принять $z = 27$ и $p = 3$, тогда $t = 3$ и $\alpha = \frac{27}{3 \cdot 3} = 3$.

По расположению лобовых частей катушечные обмотки делятся на двухплоскостные и трехплоскостные. В электродвигателях, у которых $2p = 2$, обмотка может быть только трехплоскостной.

Трехплоскостная катушечная обмотка имеет следующие характерные особенности: омические и индуктивные сопротивления всех трех фаз не равны между собой, лобовые части больше разветвлены, и поэтому несколько лучше их теплоотдача, вылеты лобовых частей обмотки от пакета железа имеют бо́льшую длину, менее удобны при ремонте из-за большого расхода меди на поперечные соединения.

Число групп в фазе в двухплоскостной обмотке равно числу пар полюсов. Число катушечных групп в фазе при трехплоскостной обмотке равно числу полюсов, а лобовые части каждой фазы располагаются в одной плоскости. В этой обмотке можно соединять параллельно обе полугруппы катушек.

При нечетном числе пар полюсов двухплоскостная катушечная обмотка будет иметь одну коленчатую катушечную группу. Катушечные группы в фазе можно соединять последовательно, параллельно или смешанно в зависимости от расчета и числа групп.

У двухслойной обмотки все секции одинаковой формы, число их равно числу зубцов. Готовые изолированные секции укладывают в открытые пазы статора так же, как и секции обмотки якоря постоянного тока, т. е. одну сторону секции располагают вверху одного паза, а другую внизу другого паза; они могут быть уложены в пазы также и через шлиц паза.

Лобовые части располагают в двух плоскостях по форме конусообразной плетеной корзины. Они имеют минимальную длину, а поэтому и меньшее по сравнению с катушечной обмоткой активное и индуктивное сопротивления.

Обмотка выполнима почти при любом числе пазов на полюс и фазу q. Если q имеет дробное значение, то симметричную двухслойную обмотку можно получить при соблюдении следующих условий: $\frac{z}{3}$ равно целому числу; знаменатель дробности d не равен и не кратен 3; отношение $\frac{2p}{d - 2a}$ равно целому числу, где $2a$ — число параллельных цепей в фазе обмотки.

Если $z = 42$, $2p = 10$ и $2a = 4$, тогда $d = 5$, так как $q = \frac{42}{10 \cdot 3} = \frac{7}{5} = 1\frac{2}{5}$ и отношение $\frac{2p}{d - 2a} = \frac{10}{5 - 4} = 10$ равно целому числу. Таким образом, обмотка будет симметричной.

Секционные группы такой обмотки составляют из разного числа секций. Если $q = B + \frac{c}{d}$, где B — целое число, и $\frac{c}{d}$ — правильная несократимая дробь, тогда часть секционных групп L будет состоять из B секций каждая, а часть групп M будет состоять из $B + 1$ секций каждая, причем $L = 2p\frac{d-c}{d}$ и $M = 2p\frac{c}{d}$.

Для конкретного примера при $z = 27$, $2p = 4$, q будет равно $\frac{z}{2p \cdot m} = \frac{27}{4 \cdot 3} = 2\frac{1}{4}$, где m — число фаз, принятое равным трем. Как видно, $B = 2$, $c = 1$ и $d = 4$. Определим значения L и M; $L = 4\frac{4-1}{4} = 3$ и $M = 4\frac{1}{4} = 1$.

Таким образом, обмотка двигателя будет содержать 3 группы, состоящие из 2 секций, и 1 группу — из трех секций.

Двухслойная обмотка может быть выполнена с диаметральным шагом, равным полюсному делению, и с укороченным шагом. Двухслойные обмотки с укороченным шагом имеют следующие особенности: укорочение шага ведет к уменьшению суммарных потерь в машине, улучшению пуска и снижению нежелательных шумов в двигателе, сокращается длина лобовых частей и уменьшается расход меди, в многополюсных двигателях облегчается укладка секций, в одних и тех же пазах могут находиться стороны секций, принадлежащие двум различным фазам. Наилучшие результаты и наименьшие затраты меди получаются при укороченном шаге в пределах 0,78—0,84 от полюсного деления.

Число секционных групп в фазе двухслойной обмотки равно числу полюсов, что позволяет образовывать до двух параллельных цепей на каждую пару полюсов. К недостаткам двухслойной обмотки относятся затруднения при укладке последнего шага обмотки. Двухслойную обмотку применяют в статорах асинхронных двигателей с открытыми и полузакрытыми пазами.

Однослойные обмотки с секциями равной формы можно получить из двухслойной обмотки, если сократить вдвое число секций, и в каждый паз укладывать только по одной секционной стороне. Все секции однослойной обмотки имеют одинаковую форму и равные шаги. Обмотка выполнима при нечетном числе пазов на полюс-фазу q при условии, что шаг обмотки нечетный. Обмотка выполнима при q, равном четному числу, при условии, что шаг обмотки имеет укорочение и равен целому нечетному числу. Лобовые части обмотки пересекаются в двух плоскостях и пространство заполняется более равномерно. В местах выхода лобовых частей пазов образуется хорошая решетка, способствующая прохождению охлаждающего воздуха. Следует применять однослойную обмотку с секциями равной формы при $q = 2$ и $q = 4$. В этой обмотке омические и индуктивные сопротивления всех фаз равны между собой (можно иметь до двух параллельных цепей на каждую пару полюсов), отсутствуют пазы с сек-

ционными сторонами, относящимися к разным фазам, фазные зоны в лобовых частях выражены более ясно, чем в двухслойной обмотке.

2. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ОБМОТОК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Конструктивные данные и расчетные величины: B_δ — максимальная индукция в зазоре (в *гс*), $B_{сп}$ — средняя индукция в ярме статора (в *гс*), $B_з$ — максимальная индукция в зубце (в *гс*), $U_ф$ — фазовое напряжение (в *в*), p — число пар полюсов, z — число пазов в статоре, $D_р$ — диаметр расточки (в *см*), $l_п$ — длина пакета стали статора (в *см*), $S_п$ — число активных проводников в пазу, k_ω — обмоточный коэффициент, $h_с$ — высота ярма статора (в *см*),

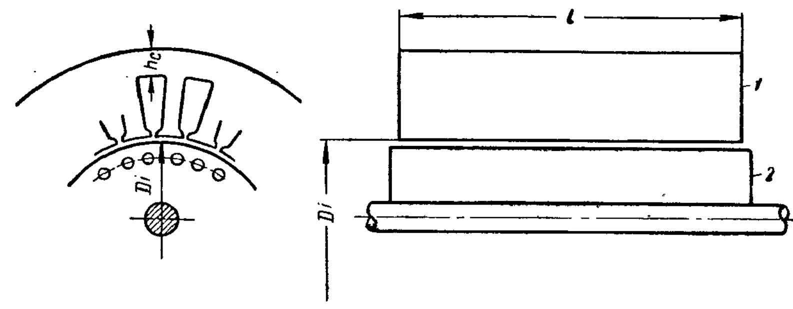


Рис. 176. Геометрические размеры статора:
1 — железо статора; 2 — железо ротора.

$h_п$ — глубина паза статора (в *см*), k_1 — отношение активной длины пакета стали статора без радиальных вентиляционных каналов к его общей длине, AS — линейная нагрузка (в *а/см*), I — ток в одной параллельной цепи обмотки статора (в *а*), Δ — плотность тока в обмотке статора (в *а/мм²*), $q_ф$ — сечение проводов обмотки (в *мм²*), $k_{зап}$ — коэффициент заполнения паза, Q — площадь сечения паза (в *мм²*).

При подготовке данных для расчета ремонтируемого генератора записывают все показатели заводской таблички-паспорта генератора. Затем фиксируют сопряжение фаз и тип обмотки, число катушечных групп в фазе и их соединение, общее число проводников в пазу и число параллельных проводов, размер и марку голого провода и с изоляцией, размеры вылетов лобовых частей, число пазов в статоре, определяют основные размеры активной стали и пазов статора (рис. 176).

Внутренний диаметр расточки статора измеряют микрометрическим штихмассом или штангенциркулем между серединами двух противоположных зубцов; при диаметрах до 300 *мм* можно применять кронциркуль.

Если наружный диаметр статора $D_н$ не удается измерить непосредственно, то получают его как сумму диаметра расточки $D_р$,

двойной высоты ярма статора $h_с$ и двойной глубины паза $h_п$ (или высоты зубцов):

$$D_н = D_р + 2h_с + 2h_п.$$

Полную длину статора $l_п$ с радиальными каналами определяют измерительной линейкой или стальным метром. Чтобы исключить ошибки из-за распушения концов зубцов, можно измерять не по головкам зубцов, а по дну пазов. Определяют также число радиальных каналов n_s и ширину их b_s.

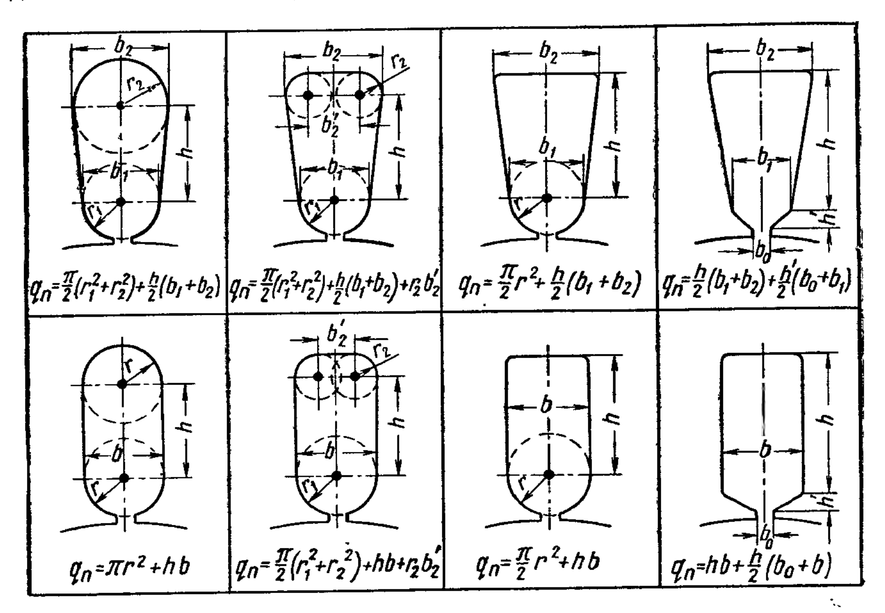


Рис. 177. Распространенные формы пазов и формулы для определения площади сечения их.

Высоту спинки статора $h_с$ определяют измерением или по формуле:

$$h_с = \frac{D_н - D_р - 2h_п}{2},$$

где $h_п$ — глубина паза или высота зубцов статора (рис. 177).

Форму паза определяют по оттиску на мягком картоне или свинце, а размеры — циркулем-измерителем. Высоту паза можно определить глубиномером.

П р о в е р о ч н ы й   р а с ч е т   о б м о т к и   с т а т о р а   г е н е р а т о р а. Обычно известными являются следующие значения: мощность генератора P (в *ква*), линейное напряжение $U_л$, частота $f = 50$ *гц*, коэффициент мощности $\cos\varphi$ и скорость вращения n (*об/мин*).

Используя эти данные, можно определить ряд других необходимых для последующего расчета вспомогательных величин.

Фазовый ток генератора:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_л}.$$

Фазовое напряжение при соединении обмоток в звезду:

$$U = \frac{U_л}{\sqrt{3}}.$$

Число полюсов генератора:

$$2p = 2\frac{60f}{n} = \frac{6000}{n}.$$

Магнитный поток статора:

$$\Phi_1 = \frac{2}{\pi}\tau \cdot l_п \cdot B_б,$$

где τ (полюсное деление) определяют из выражения: $\tau = \frac{\pi \cdot D_р}{2p}$.

Число витков в фазе:

$$W = \frac{U}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot k_w \cdot f \cdot \Phi_1},$$

где k_w — коэффициент обмотки.

Число проводников в пазу:

$$S_п = \frac{2 \cdot m \cdot W}{z} = \frac{W}{p \cdot q},$$

где q — число пазов на полюс и фазу определяют так: $q = \frac{z}{2p \cdot m} = \frac{z}{6p}$ (для трехфазного генератора $m = 3$).

Число всех проводников в пазу:

$$S'_п = a \cdot S_п,$$

где a — число параллельных ветвей, $S_п$ — число проводников в одной параллельной ветви.

Окончательное число витков:

$$W = \frac{S'_п \cdot z}{2m \cdot a}.$$

Шаг паза по расточке:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{z}.$$

Шаг обмотки:

$$y = \frac{z}{2p \cdot \tau}$$ (принимают равным 0,8—0,9).

Обмоточный коэффициент:

$$k_w = k_y \cdot k_p.$$

Коэффициент укорочения шага:

$$k_y = \sin\frac{\pi}{2}y.$$

Коэффициент распределения обмотки:

$$k_p = \frac{\sin\frac{\pi}{2m}}{q\cdot\sin\frac{\pi}{2mq}}.$$

При дробной обмотке вместо q надо подставлять $q' = a_1 + \frac{b}{c}$, где a_1 — постоянное число; $\frac{b}{c}$ — правильная дробь;

c — знаменатель, кратный или равный числу пар полюсов p.

Сечение меди фазного провода:

$$q_ф = \frac{I}{\Delta},$$

где Δ — плотность тока в $а/мм^2$.

Сечение меди одной параллельной ветви:

$$q'_ф = \frac{I}{\Delta\cdot a}.$$

Сечения обмоточных проводов выбирают по ГОСТ 434—54. Сечение прямоугольного провода равно:

$$q_{сп} = b_0\cdot h,$$

где b_0 — ширина; h — высота прямоугольного провода с изоляцией; для круглого проводника сечение определяют по формуле:

$$q_{сп} = \frac{\pi\cdot d_0^2}{4},$$

где d_0 — диаметр круглого проводника с изоляцией.

Число проводников в пазу равно:

$$n_{пр} = \frac{q_ф}{q_{сп}} = \frac{I}{\Delta\cdot a\cdot q_{сп}}.$$

Затем выбирают размеры пазовой изоляции для уточнения сечения меди проводников по следующему расчету.

Определяют толщину изоляции по ширине паза как сумму толщины (в *мм*) витковой и пазовой изоляции, а также допуска и подсчитывают толщину ее по высоте паза, как сумму толщины (в *мм*) витковой и секционной изоляции, клина, подклиновой изоляции, включая допуск.

Коэффициент заполнения паза получается равным:

$$k_{зап} = \frac{q_ф\cdot S'_п}{Q},$$

где Q — площадь сечения паза (в $мм^2$), определяемая с помощью формул для пазов различной формы (рис. 177).

Коэффициент заполнения паза статора генератора зависит от напряжения и числа проводников в пазу и находится в пределах $k_{зап} = 0{,}3—0{,}5$.

Затем проверяют получившееся значение:

$$AS = \frac{I \cdot S_п}{t_1},$$

где AS — линейная нагрузка, величина которой изменяется в пределах 300—500 *а/см* для машин с 1 и более полюсами.

Уточненная плотность тока получается из выражения:

$$\Delta = \frac{I}{q_ф}.$$

Для проверки правильности полученных данных могут служить значения индукций в ярме статора и в воздушном зазоре. Индукцию в ярме статора определяют по формуле:

$$B_{сп} = \frac{\Phi}{2 \cdot l_с \cdot L_с},$$

где $l_с$ — длина чистой стали, полученная из выражения:

$$l_с = k_1 (L - n_s \cdot b_s).$$

При толщине листов активной стали 0,5 *мм* коэффициент заполнения пакета $k_1 = 0{,}93$, а при толщине 0,35 *мм* — $k_1 = 0{,}90$. Число вентиляционных каналов n_s и их ширину b_s определяют при разборке генератора. Значение $B_{сп}$ принимают в пределах 13 000—14 000 *гс*, а индукцию в воздушном зазоре — 6000—9000 *гс*.

Конструктивные размеры возбудителя. Из большого количества размеров, характеризующих машину, выбирают для расчета следующие.

Сердечник якоря

Наружный диаметр якоря (в *мм*) . . . . $D_н$
Полная осевая длина сердечника якоря (в *мм*) . . . . $l_п$
Число зубцов или пазов якоря . . . . z

Размеры пазов якоря (в *мм*):

полная глубина . . . . $h_п$
ширина паза . . . . $b_п$
место для клина . . . . $h_у$

Поперечные вентиляционные каналы:

ширина (в *мм*) . . . . $b_к$
число . . . . $n_к$

Данные осевых вентиляционных каналов:

диаметр (в *мм*) . . . . $a_к$
число . . . . $n'_к$

Внутренний диаметр якоря (в *мм*) . . . . $D_я$

Заточки под бандажи на поверхности якоря:

число . . . . $n_з$
глубина (в *мм*) . . . . $h_з$
осевая длина (в *мм*) . . . . $l_з$

Толщина листов стали сердечника якоря (в *мм*) . . . . Δ_1

Род изоляции листов стали — бумага, лак и т. п.

Главные полюса:

число главных полюсов . . . . $2p$
полюсная дуга главного полюса . . . . $b_в$
зазор между главными полюсами и якорем . . . . δ_2
осевая длина полюсного башмака . . . . $l_а$

сердечник главного полюса:

ширина (в *мм*) . . . . $b_г$
осевая длина (в *мм*) . . . . $l_г$
высота (в *мм*) . . . . $h_г$

Толщина листов стали сердечников . . . . $\Delta_г$

Материал массивных сердечников — сталь или чугун

Добавочные полюса:

число добавочных полюсов . . . . $2p$

размеры башмака добавочного полюса (в *мм*):

ширина . . . . $b'_д$
длина . . . . $l'_д$

Сердечник добавочного полюса:

ширина (в *мм*) . . . . $b_д$
высота (в *мм*) . . . . $h_д$
осевая длина (в *мм*) . . . . $l_д$

Зазор между добавочными полюсами и якорем . . . . $\delta_д$

Станина

Внутренний диаметр . . . . D_a
Высота поперечного сечения . . . . h_a
Осевая длина . . . . l_c

Материал: чугун, стальное литье и т. п.

Коллектор:

диаметр . . . . $D_к$
осевая длина . . . . $l_к$
число пластин . . . . k

Проверочный расчет обмотки якоря. Расчетную длину якоря l определяют из выражения:

$$l = l_п - 0{,}5 n_к \cdot b_к \quad (см).$$

При отсутствии поперечных вентиляционных каналов длина якоря составляет:

$$l = l_п \ (см).$$

Чистая длина стали сердечника якоря l_0 равна:

$$l_0 = k_0 \cdot l = k_0 (l_п - 0{,}5 n_к \cdot b_к) \quad (см),$$

где k_0 — коэффициент, учитывающий неплотность прилегания листов стали друг к другу и наличие изоляции между ними.

Если поперечных вентиляционных каналов нет, то:

$$l_0 = k_0 \cdot l_п \quad (см).$$

Значения k_0 приведены в таблице 72.

Таблица 72

Значение коэффициента k_0

Толщина листов стали (в *мм*)	Изоляция листов стали		
	бумага	лак	без изоляции
0,5	0,90	0,93	0,95
0,35	0,87	0,90	0,93

Расчет обмотки якоря начинают с того, что задаются индукцией B_δ в зазоре и определяют магнитный поток Φ. Затем проверяют значения индукций в отдельных участках магнитной цепи машины и делают расчет числа проводников обмотки якоря возбудителя.

Магнитный поток Φ одного главного полюса (участок 4) определяют по формуле (рис. 178):

$$\Phi = B_\delta \cdot b_в \cdot l = B_\delta \cdot Q_в,$$

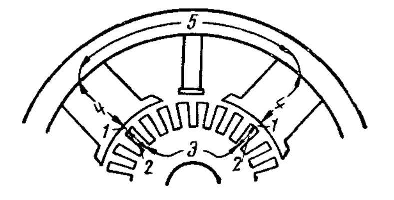


Рис. 178. Пять участков магнитной цепи возбудителя.

где B_δ — наибольшая индукция под башмаком, которая может быть принята 5000—9000 *гс* (нижний предел индукции относится к малым и быстроходным машинам). Кроме того, чем лучше вентиляция, тем выше может быть принята индукция.

Индукция в зубцах якоря $B_з$ (участок 2) равна:

$$B_з = \frac{\Phi}{Q_з} = \frac{\Phi \cdot t_1}{b_з \cdot l_0 \cdot b_в} \quad (гс),$$

где t_1 — зубцовое деление;

$b_з$ — расчетная ширина зубца;

$z_в = \frac{b_в}{t_1}$ — число зубцов, приходящихся на полюсную дугу.

Значение $B_з$ не должно превышать 18 000—20 000 *гс*.

Индукция в теле якоря $B_т$ (участок 3) получается из следующего равенства:

$$B_т = \frac{\Phi}{2 \cdot Q_т} = \frac{\Phi}{2 \cdot l_0 \cdot h_т} = \frac{\Phi}{l_0 (D_н - D_в - 2h_н)} \ (гс),$$

где $h_т$ — расчетная высота тела якоря; индукция $B_т$ не должна быть выше 11 000—13 000 *гс*.

Индукция в сердечнике главного полюса (участок 4) получается из выражения:

$$B_г = \frac{k_р \cdot \Phi}{Q} = \frac{k_р \cdot \Phi}{k_0 \cdot b_г \cdot l_г} \ (гс),$$

где $k_р$ — коэффициент рассеяния, равный 1,15—1,25;

k_0 — коэффициент, принимаемый равным 0,95 для стали толщиной 1 *мм* и 0,97 — для стали толщиной 1,5 *мм*.

Индукция в сердечнике главного полюса должна быть в пределах 14 000—16 000 *гс*; для сердечников из листовой стали — не выше 12 000—14 000 *гс* в том случае, если сердечник выполнен из стального литья и 8000—9000 *гс* при чугунном сердечнике.

Индукция в станине (участок 5) определяется по формуле:

$$B_с = \frac{k_р \cdot \Phi}{2 \cdot Q_с} = \frac{k_р \cdot \Phi}{2 \cdot l_с \cdot h_с} \quad (гс).$$

Для стальных, литых и кованых станин эта индукция должна быть не более 10 000—12 000 *гс*, а для чугунных — не выше 6000—7000 *гс*.

Величину напряжения между соседними пластинами коллектора $e_к$ получают из формулы:

$$e_к = \frac{2p}{k} \cdot U \cdot 2.$$

Напряжение $e_к$ считается допустимым до 35 *в* для нормальных четырехполюсных машин малой и средней мощности, а для мелких двухполюсных машин может быть повышено до 80 *в*.

Если в результате определения индукции на отдельных участках магнитной цепи получены удовлетворительные результаты, то продолжать расчет надо в следующем порядке.

Определяют предварительное число проводников обмотки якоря из выражения:

$$N = \frac{60 \cdot U \cdot a \cdot 10^8}{\Phi \cdot p \cdot n},$$

где U — напряжение возбудителя;

$a = p$ — для простой петлевой обмотки;

$a = 1$ — для простой волновой обмотки;

p — число пар полюсов;

n — число оборотов машины в 1 минуту.

Проверяют возможность выполнения обмотки, исходя из известного числа пазов якоря z и пластин коллектора k, которыми предопределяется тип обмотки.

При выборе типа обмотки нужно учитывать следующие условия:

а) все катушки будут одинаковыми, если отношение $u = \frac{k}{z}$ равно целому числу;

б) волновая обмотка может быть выполнена лишь при числе пазов, равном целому числу:

$$y = \frac{k \pm 1}{p} = \frac{uz \pm 1}{p};$$

в) симметричность простой петлевой обмотки дополнительно к u обусловливается еще следующими отношениями, равными также целому числу: $\frac{z}{a}$ и $\frac{k}{a}$.

Зная число проводников обмотки, число катушек, секций и витков, можно определить сечение проводника обмотки якоря для мягких (проволочных) и жестких (из полосовой меди) секций.

Сечение проводника при мягких секциях рассчитывают так:

а) определяют сечение q_1 проводника с изоляцией

$$q_1 = \frac{z \cdot q_{п} \cdot k_{зап}}{N \cdot c} \ (мм^2),$$

а так как для мягких секций не следует применять провода диаметром более 2 *мм*, то его сечение, превышающее сечение провода указанного диаметра, составляют из двух-трех параллельно соединенных проводников, т. е. $c = 2—3$.

Коэффициент заполнения паза $k_{зап}$ для овальных пазов колеблется в пределах 0,35—0,42 общей площади паза, а для пазов трапециевидной и прямоугольной формы от 0,3 до 0,37;

б) диаметр провода с изоляцией будет равен

$$d' = \sqrt{\frac{4q_1}{\pi}} \ (мм);$$

в) зная марку и сечение провода с изоляцией, а также толщину изоляции δ', определяют диаметр и сечение голого провода из формулы

$$d = d' - 2\delta' \quad и \quad q_1 = \frac{\pi D^2}{4} \ (мм^2).$$

Если среди нормальных диаметров нет найденного по расчету, выбирают ближайший нормальный диаметр (голого и с изоляцией), устанавливают сечение и определяют новое значение коэффициента заполнения паза.

Определение сечения проводников (полос) жесткой секции начинают с толщины изоляции всех видов в пазу и тогда на долю сечения проводника обмотки якоря остается в пазу место после

вычитания из ширины и глубины паза соответствующих суммарных толщин изоляции (рис. 179).

Применяют следующие виды изоляции:

а) хлопчатобумажная, батистовая или миткалевая лента толщиной 0,10—0,15 *мм* для изолированной голой меди (проводника); ее накладывают в один слой и вполнахлеста, суммарная наибольшая толщина такой изоляции на обе стороны составляет 0,15 *мм* × × 4 слоя = 0,6 *мм*;

б) для выкладки паза используют электрокартон и лакоткань; паз выкладывают двойным слоем электрокартона толщиной

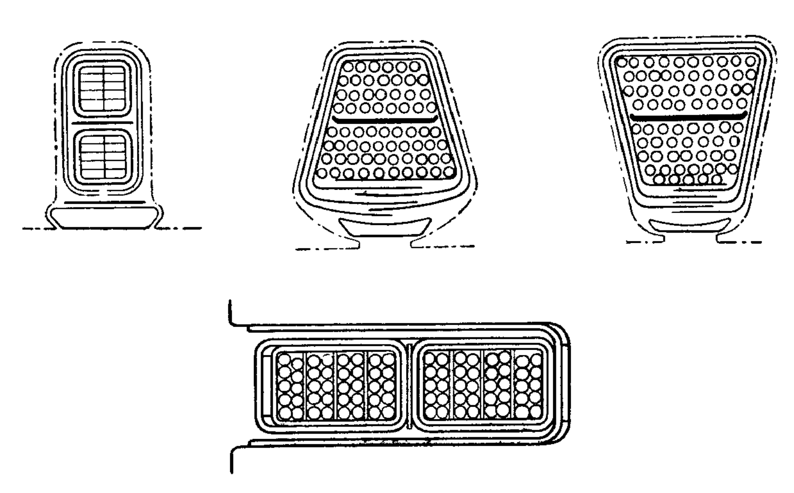


Рис. 179. Примеры пазов, заполненных изоляцией и проводниками.

0,20 *мм* с перекрытием на $^1/_4$ по узкой стороне; общая толщина электрокартона по ширине составит (0,2 *мм* × 2 слоя) · 2 = 0,8 *мм*, а по высоте — 0,2 *мм* × 6 слоев = 1,2 *мм*;

в) между слоями электрокартона прокладывают лакоткань толщиной (в среднем) 0,15 *мм* с трех сторон (снизу и на боковых сторонах паза); толщина лакоткани по ширине составит 0,15 *мм* × × 2 слоя = 0,30 *мм*, а по высоте — 0,15 *мм* × 1 слой = 0,15 *мм*.

Обмотку укладывают с допусками: по ширине не менее 0,3 *мм*, а по высоте не менее 0,4 *мм*.

В данном случае толщина изоляции всех видов составит: по ширине паза 2,00 *мм*, а по высоте — 2,40 *мм*. Зная размеры паза, можно определить размеры места, оставшегося в пазу для размещения медных проводников.

Расчет обмотки якоря заканчивают проверкой номинального тока машины, мощности ее и линейной нагрузки.

Номинальный ток равен:

$$I = 2 \cdot a \cdot c \cdot q_0 \cdot \Delta_я,$$

где $\Delta_я$ — плотность тока в обмотке якоря;
$2a$ — число параллельных ветвей;
c — число параллельно соединенных проводников;
$q_п$ — площадь поперечного сечения проводника обмотки.

Для машин постоянного тока, используемых в качестве возбудителей, с числом оборотов 750—1500 в 1 *мин* в открытом или защищенном исполнении и с вентилятором на валу, плотность тока принимают: в обмотке якоря $\Delta_я = 4{,}5—5{,}5$ *а/мм*², в параллельной обмотке $\Delta_п = 2{,}0—2{,}5$ *а/мм*², в последовательной обмотке $\Delta_{пос} = 2{,}5—3{,}0$ *а/мм*², в добавочных полюсах $\Delta_д = 3{,}0—3{,}5$ *а/мм*².

Мощность возбудителя определяют из выражения:

$$P = U \cdot I \cdot 10^{-3} \ (квт).$$

Линейную нагрузку AS, равную произведению тока в проводнике на число проводников, приходящихся на 1 *см* длины окружности якоря, определяют из выражения:

$$AS = \frac{N \cdot I}{\pi \cdot D \cdot 2a} \ а/см.$$

Величина AS позволяет проверить правильность выбора плотности тока. Для возбудителей величина AS должна оставаться в пределах 0,8—1,2 $D_я$, где $D_я$ — диаметр якоря (в *мм*).

Расчет обмотки главных полюсов возбудителя. Основная цель расчета обмотки главных полюсов определить число ампер-витков, потребное для поддержания расчетных значений магнитной индукции во всех участках магнитной цепи.

Намагничивающую силу $F_в$ для зазора определяют по формуле:

$$F_в = 1{,}6 \cdot B_\delta \cdot k_в \cdot \delta_г,$$

где коэффициент зазора $k_в$ можно подсчитать из выражения:

$$k_в = \frac{t_1 + 10\delta_г}{t_1 - b_п + 10\delta_г},$$

где t_1 — зубцовое деление по поверхности якоря (в *см*);
$b_п$ — ширина паза (в *см*); при полузакрытом пазе вместо значения $b_п$ надо поставить ширину отверстия — шлица паза b_0.

Намагничивающую силу $F_з$, необходимую для поддержания в зубцах якоря индукции $B_з$, определяют так:

$$F_з = H_з \cdot d_з \ (ав),$$

где $H_з$ — напряженность поля, измеряемая числом ампер-витков на 1 *см* высоты зубца при различных значениях индукции;
$d_з = 2h_п$ — расчетная толщина слоя зубцов при прямоугольных открытых пазах и $d_з = 2\,(h_п - 0{,}2\,r_1)$ *см* при полузакрытых пазах овальной формы;
r_1 — радиус закругления овального паза.

Значение намагничивающей силы $F_т$ для поддержания в теле якоря индукции $B_т$ рассчитывают по формуле:

$$F_т = H_т \cdot L_т,$$

где $H_т$ — напряженность поля (в *ав/см*), определяемая из таблиц 73 и 74;

$L_т$ — длина магнитного пути в теле якоря, которая определяется из формулы:

$$L_т = \frac{\pi (D_н - 2h_п - h_т)}{2p} + h_т,$$

в которой $h_т$ — высота тела якоря (в *см*).

Для поддержания индукции $B_г$ в сердечниках главных полюсов намагничивающая сила $F_г$ должна иметь величину:

$$F_г = 2 \cdot H_г \cdot h_г,$$

где $H_г$ — напряженность поля (в *ав/см*), которая, в зависимости от значения индукции $B_г$, может быть взята из таблицы 75.

Намагничивающая сила $F_с$, необходимая для поддержания индукции $B_с$ в станине возбудителя, должна быть равна:

$$F_с = H_с \cdot L_с,$$

где $H_с$ — напряженность поля (в *ав/см*) принимается по данным таблицы 76 для стальной станины и по таблице 77 для чугунной станины;

$L_с$ — длина среднего волокна станины, которую определяют из выражения:

$$L_с = \frac{\pi (D_с + h_с)}{2p} \ (см).$$

Суммарная намагничивающая сила F, которой должны обладать главные полюса возбудителя при холостом ходе, равна:

$$F = F_в + F_з + F_т + F_г + F_с \ (ав).$$

Для учета потери напряжения во внутренней последовательной цепи возбудителя, т. е. в обмотке якоря $\Delta U_я$, в контакте щеток на коллекторе ΔU и в обмотке добавочных полюсов $\Delta U_г$ необходимо полученное число ампер-витков F увеличить исходя из следующего расчета.

Электродвижущая сила в якоре E должна быть:

$$E = U + 1{,}24 \cdot I (r_я + r_д) + 2\Delta U,$$

где $r_я$ — сопротивление обмотки якоря при 15°C;

$r_д$ — сопротивление обмотки добавочных полюсов при 15°C.

Сопротивления $r_я$ и $r_д$ определяют расчетом по имеющимся данным этих обмоток. Потери напряжения в графитных и угольных щетках можно принять равными $\Delta U = 1$ *в*.

Таблица 73

Листовая электротехническая сталь (только для зубцов якоря)

B (*гс*)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
14 000	12,0	12,5	13,0	13,5	14,1	14,6	15,2	15,9	16,6	17,4
15 000	18.2	19,1	20,1	21,2	22,3	23,6	25,0	26,5	28.2	30,0
16 000	32	34	36	38	41	43	46	49	52	55
17 000	58	61	64	67	70	74	78	82	87	92
18 000	97	102	108	113	119	125	131	137	143	149
19 000	155	161	168	175	182	189	196	204	212	221
20 000	230	239	248	257	266	276	287	300	315	330
21 000	345	365	385	405	425	450	475	500	530	560
22 000	590	620	650	680	715	750	785	820	855	890
23 000	925	960	1000	1030	1070	1100	1140	1170	1210	1240
24 000	1280	1310	1350	1380	1420	1450	1490	1530	1560	1600
25 000	1640	1680	1710	1750	1790	1830	1870	1900	1940	1980

Примечание. При индукции ниже 14 000 *гс* следует пользоваться таблицей 74.

Таблица 74

Характеристики намагничивания различных магнитных материалов в ампер-витках на 1 *см* длины

(листовая электротехническая сталь толщиной 0,5 *мм*)

B (*гс*)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
3 000	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
4 000	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1.1	1,2	1,2	1.2	1,2
5 000	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
6 000	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1.9
7 000	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3
8 000	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8
9 000	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,6
10 000	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4.2	4,3	4,4	4,5	4,6
11 000	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,3	5,4	5,6	5,7	5,9
12 000	6,1	6,3	6,5	6,7	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	8,0
13 000	8.3	8,6	8,9	9,2	9,6	10,0	10,4	10,7	11,2	11,7
14 000	12.2	12,8	13,4	14,1	14,7	15,3	16,0	16,7	17,4	18,3
15 000	19,3	20,4	21,6	22,8	24,1	25,5	26,9	28,4	31,0	33,0
16 000	35,0	37,0	39,0	41.0	43,0	46,0	49,0	52,0	55,0	58,0
17 000	61.0	65,0	69,0	73,0	77,0	82,0	87,0	92,0	97,0	102
18 000	108	114	120	126	133	140	147	154	162	171
19 000	180	190	200	211	222	234	246	258	271	285
20 000	300	320	340	360	380	400	420	445	470	495
21 000	525	555	590	630	670	720	770	830	900	970
22 000	1040	1120	1200	1290	1380	1480	1580	1680	1790	1910

Таблица 75

Листовая сталь толщиной 1,0 и 1,5 *мм* для полюсов

В (гс)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
6 000	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5
7 000	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0
8 000	4,1	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,7	4,8
9 000	4,9	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,6
10 000	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3	6,5	6,6	6,7
11 000	6,9	7,0	7,2	7,3	7,5	7,6	7,8	8,0	8,1	8,3
12 000	8,5	8,7	8,9	9,1	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,4
13 000	10,7	11,0	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,2	13,7	14,2
14 000	14,7	15,2	15,8	16,4	17,1	17,9	18,7	19,5	20,4	21,4
15 000	22,5	23,6	24,8	26,1	27,5	29,0	30,5	32,5	34,5	37,0
16 000	39	42	44	47	50	53	56	59	63	67
17 000	71	75	79	84	89	94	99	104	110	116
18 000	122	128	135	142	150	158	166	174	183	192

Таблица 76

Литая сталь

В (гс)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
3 000	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
4 000	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	4,4	4,4
5 000	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,4
6 000	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4
7 000	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,3	6,4	6,5
8 000	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6
9 000	7,8	7,9	8,0	8,1	8,3	8,4	8,5	8,7	8,8	8,9
10 000	9,1	9,2	9,4	9,5	9,7	9,8	10,0	10,1	10,3	10,4
11 000	10,6	10,8	11,0	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0	12,2	12,4
12 000	12,7	13,0	13,2	13,6	13,9	14,2	14,6	15,0	15,4	15,8
13 000	16,2	16,7	17,2	17,7	18,2	18,8	19,4	20,0	20,6	21,3
14 000	22,0	22,7	23,5	24,3	25,1	26,0	26,9	27,9	28,9	30,0

Таблица 77

Чугув

В (гс)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
3 000	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16
4 000	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21
5 000	22	22	23	23	24	25	25	26	27	28
6 000	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
7 000	39	40	41	42	44	45	47	48	50	51
8 000	53	55	57	59	61	63	65	67	69	72
9 000	75	78	81	84	87	90	93	96	99	102
10 000	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142
11 000	147	152	157	162	167	173	179	185	191	197
12 000	203	209	216	223	230	237	244	251	259	267
13 000	275	283	291	300	310	320	330	340	350	360
14 000	370	380	390	400	410	420	435	445	460	470

После расчета электродвижущей силы увеличивают индукцию пропорционально отношению E и U и по таблицам находят новые значения потребных ампер-витков и намагничивающей силы.

Зная суммарное число ампер-витков, переходят к определению числа витков на полюс по формуле:

$$W = \frac{5700 \cdot k_т \cdot U}{2p \cdot l_в \cdot \Delta_т},$$

где $k_т$ = 0,6 для генератора с параллельным или независимым возбуждением и $k_т = 0,7$ для генератора со смешанным возбуждением;

$l_в$ — средняя длина витка (в *см*);

$\Delta_т$ — плотность тока в обмотке главных полюсов, принимаемая в пределах 2,0—2,5 *а/мм*².

Средняя длина витка $l_в$ может быть рассчитана из выражения:

$$l_в = 2(b_г + l_г + 1) + \pi \cdot b_{ср},$$

где $b_{ср}$ — средняя толщина катушки (в *см*). Среднюю ориентировочную толщину катушки можно определять по величине промежутка между главным и добавочным полюсами; она не должна превышать 4,5—5,0 *см*.

Ток возбуждения определяют из формулы:

$$i_т = \frac{F}{W_т} \ (a).$$

Сечение проводника равно:

$$q_т = \frac{i_т}{\Delta_т} \ (мм^2),$$

откуда диаметр провода без изоляции:

$$d_т = \sqrt{\frac{4q_т}{\pi}} \ (мм).$$

Если сечение проводника получается больше 3—4 *мм*², целесообразно применять проводник прямоугольного сечения с отношением сторон 1 : 2.

Размеры катушки получают таким расчетом: число витков в ряду равно 0,95 $h_г$, деленному на $d_т^1$ (диаметр провода с изоляцией), число рядов равно $W_т$, деленному на число витков в ряду, а толщина катушки — произведению числа рядов на диаметр провода с изоляцией $d'_т$. Затем проверяют достаточность места для катушки и уточняют среднюю длину витка $l_в$.

Расчет обмотки добавочных полюсов. Добавочные полюса оказывают значительное влияние на работу возбудителя. Намагничивающая сила добавочных полюсов должна компенсировать намагничивающую силу реакции якоря и превосходить ее примерно на 25%. Поэтому намагничивающая сила

обмотки добавочных полюсов, рассчитанная на пару полюсов, должна быть:

$$F_{д} = 2 \cdot I \cdot W_{д},$$

где I — ток якоря возбудителя;

$W_{д}$ — количество витков добавочных полюсов, определяемое по формуле: $W_{д} = \frac{0{,}625 \cdot N \cdot a_{д}}{2p \cdot 2a}$ (витков), в которой $a_{д}$ — число параллельных ветвей в обмотке добавочных полюсов.

Сечение проводника обмотки добавочных полюсов равно:

$$q_{д} = \frac{I}{a_{д} \cdot \Delta_{д}} \ (мм^2),$$

где $\Delta_{д}$ — плотность тока в обмотке добавочных полюсов, равная 3,0—3,5 *а/мм*^{2}.

Для конструирования катушки, определения ее сопротивления, потребной длины и веса проводника (шины) необходимо знать среднюю длину витка, которая равна:

$$l'_{в} = 2(b_{д} + l_{д} + 1) + \pi \cdot b_{ср_{д}} \ (см),$$

когда катушки изготовляют из голой меди плашмя или из изолированного проводника. Если при изготовлении катушки голую медь гнут на ребро, то среднюю длину витка определяют по формуле:

$$l'_{в} = 2b_{д} + \pi(b_{д} + b_0 + 1) \ (см),$$

где b_0 — ширина меди.

Сопротивление обмотки главных (добавочных) полюсов может быть рассчитано по формуле:

$$r = \frac{2p \cdot W_{т} \cdot l_{в}}{5700 \cdot q_{т}} \ (ом),$$

где $W_{т}$ и $q_{т}$ — соответствующие числа витков и сечение голого проводника обмотки главного или добавочного полюсов.

Сопротивление обмотки якоря определяют из выражения:

$$r_{я} = \frac{N \cdot l_{в}}{11\,400 \cdot (2a)^2 \cdot c \cdot q_{я}} \ (ом).$$

3. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В основу расчета трансформатора принимают следующие данные: полную мощность P *ква*, число фаз $m = 3$, частоту $f = 50$ *гц*, высшее напряжение (ВН) U_2 *в*, низшее напряжение (НН) U_1 *в*, схему и группу соединений, способ охлаждения, напряжение короткого замыкания $e_{к}\%$, потери короткого замыкания

p_k *вт*, потери холостого хода P_{xx}*вт*, ток холостого хода I_{xx}%, установка (наружная, внутренняя).

Определение основных электрических величин. Мощность одной фазы, а для трехфазного трансформатора и мощность одного стержня:

$$P_ф = P' = \frac{P}{3} \ (\textit{ква}).$$

Номинальные токи:

на стороне ВН $I_2 = \dfrac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_2}$ (a);

на стороне НН $I_1 = \dfrac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_1}$ (a).

Фазные токи:
на стороне ВН (соединение Y)

$$I_{ф_2} = I_2;$$

на стороне НН (соединение Δ)

$$I_{ф_1} = \frac{I_1}{\sqrt{3}} \ (a).$$

Фазные напряжения:
на стороне ВН (соединение Y)

$$U_{ф_2} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} \ (\textit{в});$$

на стороне НН (соединение Δ)

$$U_{ф_1} = U_1 \ (\textit{в}).$$

Расчет обмоток НН. Расчет обмоток трансформатора начинают с обмотки низшего напряжения. У большинства трансформаторов она располагается между стержнем и обмоткой высшего напряжения.

Число витков на одну фазу обмотки НН — W_1 определяют по формуле:

$$W_1 = \frac{U_{ф_1} \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot f \cdot B_c \cdot П_c}. \qquad (1)$$

Значение W_1, полученное из расчета в виде дроби, округляют до ближайшего целого числа. Число витков может быть как четным, так и нечетным. Для трехфазного трансформатора найденное значение W_1 является числом витков на один стержень. После округления числа витков проверяют э. д. с. одного витка — $U_в$:

$$U_в = \frac{U_{ф_1}}{W_1} \ (\textit{в}), \qquad (2)$$

а также действительную индукцию в стержне — B_c:

$$B_c = \frac{U_в \cdot 10^8}{4{,}44 \cdot f \cdot П_c} \ (\textit{гс}), \qquad (3)$$

где $П_c$ — сечение стержня (в *мм*²).

Величину индукции для силовых трансформаторов выбирают в пределах 10—14,5 тыс. *гс*. Для трансформаторов меньших мощностей принимают соответственно меньшие значения индукции.

Сечение стержня $П_с$ определяют из формулы:

$$П_с = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot k_с, \qquad (4)$$

где d — диаметр описанной вокруг стержня окружности;

k_s — коэффициент использования, зависящий от формы сечения;

$k_с$ — коэффициент заполнения сечения стержня, зависящий от характера межлистовой изоляции, числа ступеней в сечении стержня и т. д.

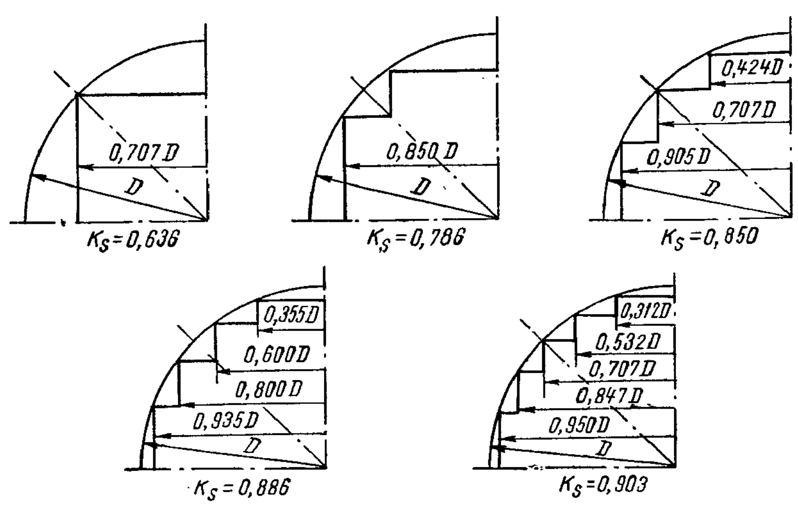


Рис. 180. Сечения магнитопроводов и расчетные данные.

На рисунке 180 приведены необходимые данные для расчета сечения магнитопровода разной конфигурации.

Коэффициент $k_с$ является произведением двух коэффициентов:

$$k_с = k_р \cdot k_s.$$

Таблица 78

Значения коэффициента заполнения сечения стержня ($k_р$)

Наименование	Запрессовка стержня расклиниванием с обмоткой						Запрессовка стержня шпильками			
Число ступеней в сечении стержня	1	2	3	4	5	6	6	7	8	9
Коэффициент $k_р$	0,637	0,787	0,851	0,886	0,910	0,930	0,920	0,930	0,940	0,950

Таблица 79

Значения коэффициента использования (k_s)

Толщина листов стали (в *мм*)	Изоляция	
	бумага	лак
0,35 0,50	0,85 0,875	0,91 0,92

Расчет цилиндрических обмоток из прямоугольных проводов. Для трансформаторов с мощностью на один стержень до 10 *ква*, а в отдельных случаях и для более мощных трансформаторов обмотка может быть намотана в один слой, но чаще число слоев цилиндрической обмотки выбирают равным двум.

Таблица 80

Значения коэффициента k_0, учитывающего добавочные потери в обмотках, отвода и др.

Мощность на один стержень (в *ква*)	До 35	35 -110	Более 110
Коэффициент k_0	0,99	0,99—0,97	0,95—0,90

Таблица 81

Средняя плотность тока ($\Delta_{ср}$) в обмотках

Мощность на один стержень (в *ква*)	До 5	5—20	20—35	Выше 35
В масляных трансформаторах $\Delta_{ср}$ (в *а/мм*^{2})	2—2,5	2,5 3,5	3,0—4,0	3,5—4,5

В однослойной обмотке число витков в одном слое равно $W_{сл_1} = W_1$, а в двухслойной — $W_{сл_1} = 0{,}5W_1$.

Осевой размер витка приближенно определяют из следующего расчета:

$$h_{в_1} = \frac{l_1}{W_{сл_1} + 1} \ (см), \tag{5}$$

где l_1 — осевой размер обмотки (в *см*).

Приближенное сечение витка устанавливают на основе предварительно принятой плотности тока.

$$П_1 = \frac{I_{c_1}}{\Delta_{ср}} \ (мм^2), \tag{6}$$

Таблица 82

Подбор проводов (марка ПБД)

Размеры (в *мм*) меньшей стороны (*а*)	Размеры (в *мм*) большей стороны (*б*)													
	2,1	2,26	2,44	2,63	2,83	3,05	3,28	3,53	3,8	4,1	4,4	4,7	5,1	5,5
	Расчетные сечения (в *мм*²)													
0,90	1,72	1,86	2,03	2,20	2,38									
1,00	1,89	2,05	2,23	2,42	2,62	2,84	3,07	3,32	3,59	3,89	4,19	4,49	4,89	5,29
1,08	2,06	2,23	2,43	2,63	2,85	3,08	3,33	3,60	3,89	4,22	4,54	4,87	5,30	5,73
1,16	2,23	2,41	2,62	2,84	3,07	3,33	3,60	3,89	4,20	4,59	4,89	5,24	5,71	6,17
1,25	2,42	2,62	2,84	3,08	3,33	3,60	3,89	4,20	4,54	4,92	5,29	5,67	6,17	6,67
1,35	2,63	2,84	3,08	3,34	3,61	3,91	4,22	4,56	4,92	5,33	5,73	6,14	6,68	7,22
1,45	2,84	3,07	3,33	3,60	3,89	4,21	4,55	4,91	5,3	5,74	6,17	6,61	7,19	7,77
1,56	3,07	3,32	3,6	3,8	4,2	4,55	4,91	5,3	5,72	6,19	6,65	7,12	7,75	8,37
1.68	3,32	3,59	3,89	4,21	4,54	4,91	5,31	5,72	6,17	6,68	7,18	7,79	8,36	9,03
1.81	3,59	3,83	4,21	4,55	4,91	5,31	5,73	6,18	6,67	7,21	7,75	8,3	9,02	9,75
1,95	—	—	4,55	4,92	5,31	5,74	6,19	6,67	7,20	7,79	8,37	8,96	9,74	10,5
2.1	3,92	—	4,64	5,04	5,46	5,93	6,41	6,93	7,5	8,13	8,76	9,39	10.2	11,1
2.26	—	4,63	—	5,45	5,92	6,41	6,93	7,5	8,11	8,79	9,46	10,1	11,0	11,9
2,44			5,37	5.94	6,43	6,96	7,52	8,13	8,79	9,52	10,2	11,0	11,9	12,9
2,63				6,44	—	7,54	8,15	8,8	9,51	10.3	11,1	11,9	12,9	14,0
2,83					7,53	8,15	8,8	9.51	10.3	11.1	12,0	12,8	13,9	15,1
3,05						8,72	9,51	10,3	11,1	12,0	12,9	13,8	15.1	16,3
3.28							10,3	11,1	12,0	13,0	13,9	14,9	16,2	17,5
3,53								12,0	–	14,0	15,0	16,1	17,5	18.9
3,8									13,9	15,1	16,2	17,4	18,9	20.4
4,1										15,9	17.1	18,4	20,0	21,7
4,4											18,5	—	21,5	23,3
4,7												21,2	—	25,0
5,1													25,1	—
5,5														

Размеры (в *мм*) меньшей стороны (*a*)	Размеры (в *мм*) большей стороны (*б*)													Толщина изоляции на 2 стороны
	5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,5	
	Расчетные сечения (в *мм*²)													
0,90														
1,00	5,69	6,19	6,69	7,19	7,79	8,39								
1,08	6,16	6,70	7,24	7,78	8,43	9.08								
1,16	6,63	7,21	7,79	8,37	9,07	9.77	—	11,4						
1,25	7,17	7,79	8,42	9,04	9,79	10,6								
1,35	7.76	8,43	9,11	9,78	10,6	11,4	12,4							
1,45	8,35	9,07	9,79	10,5	11,4	12,3	13,3							0,27
1,56	8,99	9,77	10,6	11,3	12,3	13,2	14,3	15,4						
1,68	9,7	10,6	11,4	12,6	13,2	14,2	15,4	16,6	17,9					
1,81	10,5	11,4	12,3	13,3	14,4	15,5	16,6	17,9	19,3					
1,95	11,3	12,3	13,3	14,2	15,4	16,6	17,9	19,3	20,9					
2,1	11,9	12,9	14,0	15,0	16,3	17,6	19,0	20,5	22,2	23,9	25,8			
2,26	12,8	14,0	15,1	16,2	17,6	18,9	20,5	22,1	23,9	25,7	27,8			
2,44	13,9	15,1	16,3	17,6	19,0	20.5	22,2	23,9	25,9	27,8	30,0	32,4	34,9	
2,63	15,0	16,3	17,9	19,0	20,5	22,1	24,0	25,8	27,9	30,0	32,4	35,0	37,6	
2,83	16,2	17,6	19,0	20,4	22,1	23,8	25,8	27,8	30,1	32,3	34,9	37,7	40,5	
3,05	17,5	19,0	20,6	22,1	23,9	25,7	27,9	30,0	32,4	34,9	37,6	40,7	43.7	0,33
3,28	18,9	20,5	22,1	23,6	25,7	27,7	30,0	32,3	34,9	37.5	40.5	43,8	47,1	
3,53	20,3	22,1	23,1	25,6	27,7	29,9	32,3	34,8	37,6	40,5	43,6	47,2	50,6	
3,8	21,9	23,8	25,7	27,6	29,9	32,2	34,8	37,5	40,5	43,6	47,0	50,8	54,6	
4,1	13,3	25,3	27,4	29,4	31,9	34,4	37,2	40,1	43,4	46,7	50,4	54,5	58,6	
4.4	25,1	27,3	29,5	31,7	34,3	36,9	40,0	43,1	46,6	50,1	54,1	58,5	62,9	
4,7	26,8	29,2	31,5	33,9	36,7	39,5	42,8	46,1	49,9	53,6	57,9	62,6	67,3	0,44
5,1	29,2	31,7	34,3	36,8	39,9	43,0	46,5	50,1	54,2	58,3	62,9	68,0	74,1	
5,5		34,3	37,1	39,8	43,1	46,4	50,3	54,1	58,5	62,9	67,9	73,4	78,9	

где $\Delta_{ср}$ — принятое среднее значение плотности тока по таблице, равное:

$$\Delta_{ср} = 0{,}745 \cdot k_0 \cdot \frac{P_к \cdot U_в}{P \cdot d_{12}}.$$

Плотность тока в каждой из обмоток может отличаться от среднего значения на 10%.

В этой формуле обозначают:

k_0 — коэффициент, учитывающий добавочные потери в обмотках, в отводах, в стенках бака и т. д.;

$P_к$ — потери короткого замыкания (в *вт*);

d_{12} — средний диаметр канала между обмотками ВН и НН.

Значения k_0 можно принять из таблицы 80 в зависимости от мощности, приходящейся на один стержень.

Средняя плотность тока в обмотках $\Delta_{ср}$ *а/мм*² приведена в таблице 81.

Потери короткого замыкания $P_к$ могут быть взяты из каталога для такого же или аналогичного трансформатора.

Средний диаметр канала между обмотками НН и ВН может быть определен из выражения:

$$d_{12} = d + 2a_{01} + 2a_1 + a_{12} \ (см),$$

где d — диаметр описанной окружности стержня; a_{01} — расстояние наиболее удаленной от центра точки стержня до внутренней поверхности обмотки; a_1 — радиальная толщина внутренней обмотки; a_{12} — расстояние (по радиусу) между обмотками НН и ВН.

По значениям $П_1$ и $h_{в_1}$ подбирают подходящие провода (табл. 82 и 83). В первой вертикальной колонке таблицы 82 дан один из размеров (ширина *а*), а в верхней горизонтальной строке дан другой размер голого провода (толщина *б*). Произведение этих размеров, представляющее площадь сечения (в *мм*²), указано в месте пересечения соответствующих значений *а* и *б*.

Таблица 83

Допускаемые отклонения по меди (в *мм*)

Размеры *а* и *б*	Допускаемые отклонения
0,83—1,16	± 0,02
1,25—1,95	± 0,03
2,0—2,83	± 0,04
3,0—4,5	± 0,05
4,7—9,3	± 0,07
10—14,5	± 0,09

Примечание. Величины допускаемых отклонений по меди распространяются на провода ПБД, ПББО, ПСД, ПДА.

Таблица 84

Подбор проводов (марка ПБЕО)

Размеры (в *мм*) меньшей стороны (*а*)	Размеры (в *мм*) большей стороны (*б*)												
	2,1	2,26	2,44	2,63	2,83	3,05	3,28	3,53	3,8	4,1	4,4	4,7	5,1
	Расчетные сечения (в *мм*²)												
0,90	1,72	1,86	2,03	2,2	2,38								
1,00	1,89	2,05	2,23	2,42	2,62	2,84	3,07	3,32	3,59	3,89	4,19	4,40	4,89
1,08	2,06	2,23	2,43	2,63	2,85	3,08	3,33	3,60	3,89	4,22	4,54	4,87	5,30
1,16	2,23	2,41	2,62	2,84	3,07	3,33	3,60	3,89	4,20	4,55	4,89	5,24	5,71
1,25	2,42	2,62	2,84	3,08	3,33	3,60	3,89	4,20	4,54	4,92	5,29	5,67	6,17
1,35	2,63	2,84	3,08	3,34	3,61	3,91	4,22	4,56	4,92	5,33	5,73	6,14	6,68
1,45	2,84	3,07	3,33	3,6	3,89	4,21	4,55	4,91	5,3	5,74	6,17	6,61	7,19
1,56	3,07	3,32	3,6	3,8	4,2	4,55	5,91	5,3	5,72	6,19	6,65	7,12	7,75
1,68	3,32	3,59	3,89	4,21	4,54	4,91	5,3	5,72	6,17	6,68	7,18	7,79	8,36
1,81	3,59	3,83	4,21	4,55	4,91	5,31	5,73	6,18	6,67	7,21	7,75	8,3	9,02
1,95	—	—	4,59	4,92	5,31	5,74	6,19	6,67	7,2	7,79	8,37	8,96	9,74
2,1	3,92		4,64	5,04	5,46	5,93	6,41	6,93	7,5	8,13	8,76	9,34	10,2
2,26	—	4,63	—	5,46	5,92	6,41	6,93	7,5	8,11	8,79	9,46	10,1	11,0
2,44			5,37	5,94	6,43	6,96	7,52	8,13	8,79	9,52	10,2	11,0	11,9
2,63				6,44	—	7,54	8,15	8,8	9,51	10,3	11,1	11,9	12,9
2,83					7,53	8,15	8,8	9,51	10,3	11,1	12,0	12,8	13,9
3,05						8,72	9,51	10,3	11,1	12,0	12,9	13,8	15,1
3,28							10,3	11,1	12,0	13,0	13,9	14,9	16,2
3,53								12,0	—	14,0	15,0	16,1	17,5
3,8									13,9	15,1	16,2	17,4	18,9
3,1										15,9	17,1	18,4	20,0
4,4											18,5	-	21,5
4,7												21,2	—
5,1													25,1
5,5													

Продолжение

Размеры (в *мм*) меньшей стороны (*а*)	Размеры (в *мм*) большей стороны (*б*)													
	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,5
	Расчетные сечения (в *мм*²)													
0,90														
1,00	5,29	5,69	6,19	6,69	7,19	7,79	8,39							
1,08	5,73	6,16	6,70	7,24	7,78	8,43	9,08							
1,16	6,17	6,63	7,21	7,79	8,37	9,07	9,77							
1,25	6,67	7,17	7,79	8,42	9,04	9,79	10,6							
1,35	7,22	7,76	8,43	9,11	9,78	10,6	11,4	12,4						
1,45	7,77	8,35	9,07	9,79	10,5	11,4	12,3	13,3						
1,56	8,37	8,99	9,77	10,6	11,3	12,3	13,2	14,3	15,4					
1,68	9,03	9,7	10,6	11,4	12,6	13,2	14,2	15,4	16,6					
1.81	9,75	10,5	11.4	12,3	13,3	14,4	15,5	16,6	17,9	19,3				
1,95	10,5	11,3	12,3	13,3	14,2	15,4	16,6	17,9	19,3	20,9				
2,1	11,1	11,9	12,9	14,0	15,0	16,3	17,6	19,0	20,5	22,2	23,9	25,8		
2,26	11,9	12,8	14,0	15,1	16,2	17,6	18,9	20,5	22,1	23,9	25,7	27,8		
2,44	12,9	13,9	15,1	16,3	17,6	19,0	20,5	22,2	23,9	25,9	27,8	30,0	32,4	34,9
2.63	14,0	15,0	16,3	17,9	19,0	20,5	22,1	24,0	25,8	27,9	30,0	32,4	35,0	37,6
2,83	15,1	16,2	17,6	19,0	20,4	22,1	23,8	25,8	27,8	30,1	32,3	34,9	37,7	40,5
3.05	16,3	17,5	19,0	20,6	22,1	23,9	25,7	27,9	30,0	32,4	34,9	37,6	40,7	43,7
3,28	17,5	18,9	20,5	22,1	23,6	25,7	27,7	30,0	32,3	34,9	37,5	40,5	43,8	47,1
3,53	18,9	20,3	22,1	23,1	25,6	27,7	29,9	32,3	34,8	37,6	40,5	43,6	47,2	50,6
3,8	20,4	21,9	23,8	25,7	27,6	29,9	32,2	34,8	37,5	40,5	43,6	47,0	50,8	54,6
3,1	21,7	23,3	25,3	27,4	29,4	31,9	34,4	37,2	40,1	43,4	46,7	50,4	54,5	58,6
4,4	23,3	25,1	27,3	29,5	31,7	34,3	36,9	40,0	43,1	46,6	50,1	54,1	58,5	62,9
4,7	25,0	26,8	29,2	31,5	33,9	36,7	39,5	42,8	46,1	49.9	53,6	57,9	62,6	67,3
5,1	—	29,2	31,7	34,3	36,8	39,9	43,0	46,5	50,1	54,2	58,3	62,9	68,0	74,1
5,5			34,3	37,1	39,8	43,1	46,4	50,3	54,1	58,5	62,9	67,9	73,4	78,9

Примечание. Толщина изоляции на 2 стороны 0,45 ± 0,05, 0,95 ± 0,10, 1,35 ± 0,15, 1,95 ± 0,15.

Подбор проводов

Диаметр (в *мм*)	Сечение (в *мм*²)	Толщина изоляции (в *мм*)	Диаметр (в *мм*)	Сечение (в *мм*²)	Толщина изоляции (в *мм*)	Диаметр (в *мм*)	Сечение (в *мм*²)	Толщина изоляции (в *мм*)
0,15	0,0177	0,125	0.55	0.238	0,17	1,00	0.785	0,21
0,20	0,0314		0.59	0.273		1.08	0,916	
0,29	0.0661	0,15	0,64	0,322		1,12	0,985	
0,31	0,0755		0,69	0.374		1.16	1,06	
0,35	0,0962	0,16	0,74	0,430		1,25	1,23	
0,38	0,1134		0.80	0.503	0,18	1.30	1,33	0,30
0,41	0.132	0,15	0,86	0,581		1,35	1,43	
0,51	0,204	0,17	0,93	0,679		1,45	1,65	

Продолжение

Диаметр (в *мм*)	Сечение (в *мм*²)	Толщина изоляции (в *мм*)	Диаметр (в *мм*)	Сечение (в *мм*²)	Толщина изоляции (в *мм*)
1,50	1,77		2.26	4,01	
1,56	1,91		2,44	4.68	
1,68	2,22		2,63	5,43	
1.74	2.38	0,30	2,83	6,29	0,30
1,81	2,57		3,05	7,31	
1,88	2,78		3,28	8.45	
1,95	2,99		3,53	9,79	
2,10	2,46				

При выборе проводов следует учитывать, что число параллельных проводов $n_{в_1}$ должно быть не более 4, а число различных размеров проводов — не более 2, радиальные размеры всех параллельных проводов витков надо принимать равными между собой, при намотке на ребро отношение радиального размера провода к осевому его размеру должно быть не менее 1,3 и не более 3, расчетную высоту обмотки, равную $(W_{сл_1} + 1)h_{в_1}$, надо сделать на 0,5—1,5 *см* меньше осевого размера ее — l_1.

Выбранные размеры проводов записывают в виде произведения числа параллельных проводов $n_{в_1}$ на отношение сечения голого $(a \cdot b)$ и изолированного $(a' \cdot b')$ провода, т. е.

$$n_{в_1} \frac{a \cdot b}{a' \cdot b'}.$$

Полное сечение витка на $n_{в_1}$ параллельных проводов определяют по формуле:

$$q_1 = n_{в_1} \cdot q_1' = n_{в_1} \cdot a \cdot b \ (мм^2),$$

где q'_1 — сечение одного провода.

Осевой размер витка (высоту) определяют по схеме, приведенной на рисунке 181.

Полученная расчетная плотность тока равна:

$$\Delta_1 = \frac{I_{c_1}}{q_1} \ (a/мм^2).$$

Плотность тока для масляных трансформаторов, по данным заводов-изготовителей, приведена в таблице 86.

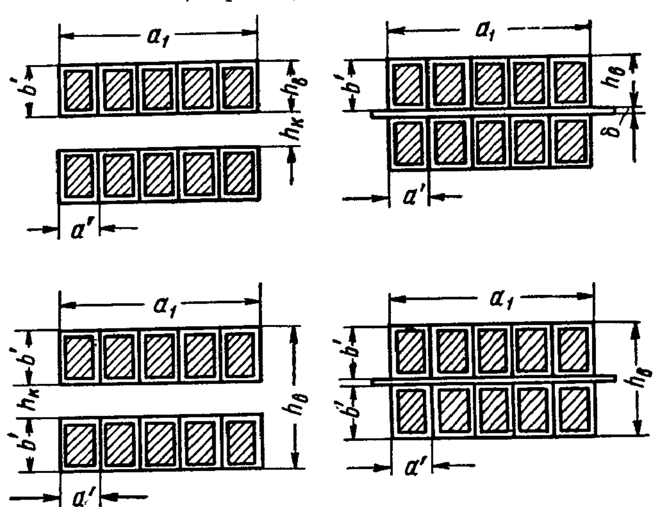


Рис. 181. Осевой размер витка.

Осевой размер обмотки:

$$l_1 = h_{в_1}(W_{сл_1} + 1) + (0{,}5 \div 1{,}5) \ (см). \qquad (10)$$

Радиальный размер однослойной обмотки (в *см*): $a_1 = a'$, а двухслойной: $a_1 = 2a' + a_{11}$.

Таблица 86

Плотность тока для масляных трансформаторов (в *а/мм²*)

Мощность трансформатора (в *ква*)	Завод-изготовитель		
	МТЗ	Динамо	Электросила
До 50	2,0—3,0	1,9—2,3	1,8—2,0
» 100	2,4—3,1	2,0—2,3	1,8—2,3
» 500	2,5—3,5	2,0—2,6	2,0—2,6

В обмотках, не имеющих канала между слоями, под a_{11} следует подразумевать толщину междуслойной изоляции, определяемую по таблицам 87 и 88, в которых приведены минимальные изоля-

ционные расстояния для главной изоляции обмоток ВН с учетом конструктивных требований, а также данные о витковой изоляции.

Таблица 87

Толщина межслойной изоляции

P на три фазы (в *ква*)	U исп. для ВН (в *кв*)	ВН от ярма (в *см*)		Между ВН и НН (в *см*)		Выступ цилиндра (в *см*)	Между ВН и НН (в *см*)	
		l_{02}	δ_{T_1}	a'_{12}	δ'_{12}	$l_{Ц2}$	a_{22}	δ_{22}
10—100	18 и 25	2,0	—	0,85	0,25	1,0	1,0	0,2
10—560	30	2,0—3,0	—	1,2	0,25	1,0	1,0	0,2
10—560	35	3,0	—	1,2	0,3	1,6	1,4	0,2
10—560	45	4,0	—	1,5	0,35	2,2	1,7	0,2
10—560	55	5,0	0,2	1,8	0,4	3,0	2,0	0,3
10—750	85	6,0	0,2	2,7	0,5	4,0	3,0	0,3

Внутренний диаметр обмотки (в *см*) равен: $D'_1 = d + 2a_{01}$, а наружный: $D''_1 = D'_1 + 2a_1$.

Таблица 88

Определение толщины межстенной изоляции

Марка провода	Размер провода (в *мм*)	Толщина изоляции на две стороны (в *мм*)	
		нормальная	усиленная
ПЭБО	⌀ 0,20—⌀ 1,16	0,125—0,21	—
ПБ	⌀ 1,25—⌀ 3,53	0,30	0,40
ПББО	Все размеры	0,45	0,50 0,55

Двухслойная обмотка должна иметь минимальные размеры охлаждающих каналов, указанные в таблице 89.

Таблица 89

Размеры охлаждающих каналов (в *см*)

Вертикальные				Горизонтальные	
длина канала	обмотка — обмотка	обмотка — цилиндр	обмотка — стержень	длина канала	обмотка — обмотка
До 30	0,4—0,5	0,4	0,4—0,5	До 3,0	0,4
30—50	0,5—0,6	0,5	0,5—0,6	3—5,0	0,5
50—100	0,6—0,8	0,5—0,6	0,6—0,8	5—6,0	0,6
100—150	0,8—1,0	0,6—0,8	0,8—1,0	6—7,0	0,7

Расчет обмотки ВН. Обмотки высшего напряжения силовых трехфазных трансформаторов сельских электроустановок

выполняют с двумя ответвлениями: одно на + 5% и второе на —5% от номинального напряжения.

Переключение ответвлений обмоток производится специальными переключателями, встроенными в трансформатор. Иногда вывод ответвлений из бака делают через проходные изоляторы с тремя проходными шпильками в каждом.

Схемы выполнения регулировочных отпаек в обмотках ВН трансформаторов и стандартные обозначения начал, концов и ответвлений обмоток ВН показаны на рисунке 182. Схема «*а*» применяется для регулирования напряжения при многослойной цилиндрической обмотке. По схеме «*б*» регулируют напряжение при

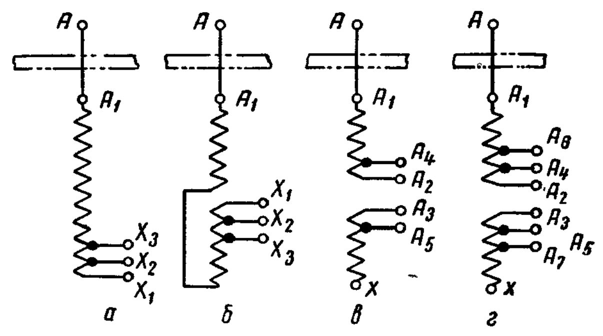


Рис. 182. Схемы выполнения регулировочных отпаек в обмотках высокого напряжения.

многослойной цилиндрической катушечной и спиральной катушечной обмотке, одну половину обмо ки мотают правой, а другую левой намоткой. Схемы «*а*» могут применяться для тех же обмоток, что и схема «*б*».

Число витков обмотки ВН для средней ступени напряжения определяют по формуле:

$$w_2 = w_1 \frac{U_{ф_2}}{U_{ф_1}}.$$

Число витков для регулировочных отводов равно:

$$w_р = 0{,}05\, w_2,$$

где w_2 и $w_р$ округляют до ближайшего целого числа.

Число витков обмотки на ответвлениях равно:

верхняя ступень напряжения $w_2 + w_р$;

средняя ступень напряжения w_2;

нижняя ступень напряжения $w_2 - w_р$.

Для трехфазного трансформатора найденное значение числа витков $w_2 + w_р$ является числом витков на один стержень.

Плотность тока Δ_2 в обмотке ВН предварительно определяют по формуле:

$$\Delta_2 \cong 2\Delta_{ср} - \Delta_1 \ (а/мм^2).$$

Для выбора плотности тока $\Delta_{ср}$ можно руководствоваться данными таблицы 86.

Сечение витка обмотки ВН предварительно определяют по формуле:

$$q_2 = \frac{I_{c_2}}{\Delta_2} \ (мм^2). \qquad (13)$$

Предварительное определение числа катушек для многослойной цилиндрической катушечной и спиральной катушечной обмотки производится с таким расчетом, чтобы число катушек было четным, а рабочее напряжение одной катушки не превосходило 800—1000 *в*.

Многослойную цилиндрическую обмотку из круглого провода рассчитывают так. Сечение витка определяют ориентировочно по формуле (13). По этому сечению обмоточного провода подбирают провод соответствующего сечения (или два-три параллельных провода) с диаметром без изоляции d_2 и с изоляцией d'_2. Подробные размеры провода записывают: $n_{в_2} \frac{d_2}{d'_2}$, где $n_{в_2}$ — число параллельных проводов.

Общее сечение витка:

$$q_2 = q_{в_2} \cdot q'_2 \ (мм^2),$$

где q'_2 — сечение одного провода.

Действительная плотность тока будет равна:

$$\Delta_2 = \frac{I_{c_2}}{q_2} \ (а/мм^2).$$

Число витков в слое:

$$w_{сл_2} = \frac{l_2}{n_{в_2} \cdot d_2} - 1, \qquad (14)$$

где l_2 — осевой размер обмотки (*мм*).

Число слоев в обмотке:

$$n_{сл_2} = \frac{w_2 + w_р}{w_{сл_2}}. \qquad (15)$$

Число слоев $n_{сл_2}$ округляют до ближайшего большего числа.

По условиям охлаждения обмотку каждого стержня выполняют в виде двух концентрических катушек с осевым масляным каналом между ними; число слоев внутренней катушки должно составлять не более $\frac{1}{2} - \frac{2}{5}$ от общего числа слоев обмотки. В случае применения этого типа обмотки на стороне НН число слоев внутренней и наружной катушек между двумя цилиндрами делают равными.

Минимальную ширину масляного канала между катушками a'_{22} выбирают по таблице 89.

В трансформаторах с мощностью на один стержень не более 3—4 *ква* возможно применение обмотки, состоящей из одной катушки без осевого канала.

Регулировочные отпайки делают после следующих витков, считая от начала намотки:

$$(w_2 - w_р);\ w_2;\ (w_2 + w_р).$$

Минимальный радиальный размер a_{12} осевого канала между обмотками НН и ВН и толщину изоляционного цилиндра выбирают по испытательному напряжению обмотки ВН.

Внутренний диаметр обмотки (в *см*) равен $D'_2 = D''_1 + 2a_{12}$, а наружный диаметр обмотки без экрана $D''_2 = D'_2 + 2a_2$ (*см*).

Расстояние между осями соседних стержней (в *см*) составляет:

$$c = D''_2 + a_{22}.$$

Размер c округляют до 0,5—1,0 *см*.

Расчет многослойной цилиндрической катушечной обмотки. Наименьшее число катушек, приходящееся на один стержень, предварительно определяют по формуле:

$$n_{кат} = \frac{U_ф}{800 \div 1000} \qquad (16)$$

и окончательно принимают ближайшее большее четное число. Ориентировочное сечение витка определяют по формуле (13).

Плотность тока:

$$\Delta_2 = \frac{I_{c_2}}{q_2}\ (а/мм^2), \qquad (17)$$

где q_2 — полное сечение витка (в $мм^2$).

Число витков в одинарной катушке составляет:

$$w_{кат} = \frac{w_2 + w_р}{n_{кат}}. \qquad (18)$$

В трансформаторах с мощностью на один стержень менее 35 *ква* возможно применение обмотки, намотанной на цилиндр без осевого и радиальных каналов и с межкатушечной изоляцией в виде простых и угловых шайб.

При $35 < P' < 110$ *ква* для нормального охлаждения обмотки следует предусмотреть только осевой канал между обмоткой и цилиндром, а при больших мощностях также и радиальные каналы между всеми или только двойными катушками. Суммарную высоту (осевой размер) межкатушечной изоляции обмотки предварительно определяют как сумму высот всех каналов и толщин обмотки одного стержня:

$$h_{из} = \sum h_к + \sum \delta_ш\ (см). \qquad (19)$$

Шайбы применяют толщиной: в двойных катушках $\delta_ш = 0{,}1—0{,}2$ *см*, а угловые шайбы $\delta_ш = 0{,}05—0{,}1$ *см*.

Суммарную высоту всех катушек определяют по формуле:

$$\sum h_{\text{кат}} = l_2 - h_{\text{из}} \ (см). \tag{20}$$

Осевой размер катушки (ориентировочно):

$$h_{\text{кат}} = \frac{\sum h_{\text{кат}}}{n_{\text{кат}}} \ (см). \tag{21}$$

Число витков в одном слое катушки:

$$w_{\text{сл}_2} = \frac{h_{\text{кат}}}{d'_2} - 1. \tag{22}$$

Число слоев в катушке:

$$n_{\text{сл}_2} = \frac{w_{\text{кат}}}{w_{\text{сл}_2}}. \tag{23}$$

Радиальный размер катушки:

$$a_2 = n_{\text{сл}_2} \cdot d_2 + (n_{\text{сл}_2} - 1)\,\delta_{\text{м. сл}} \ (см). \tag{24}$$

В зависимости от испытательного напряжения усиливают изоляцию одной или двух катушек у линейного и нулевого концов фазы, что достигается применением провода с увеличенной толщиной изоляции и утолщением межслойной изоляции. В обмотках с рабочим напряжением менее 20 *кв* регулировочные отпайки делают от одной из средних катушек.

После предварительного определения числа витков и слоев в катушках, а также их осевых и радиальных размеров окончательно распределяют витки между всеми катушками и устанавливают их осевые и радиальные размеры по формулам (24) и (25), а также размеры радиальных каналов или толщину между катушками.

Осевой размер катушки:

$$h_{\text{кат}} = (w_{\text{сл}_2} + 1)\, d'_2 \ (см). \tag{25}$$

Радиальные и осевые размеры всех катушек должны быть равными, а число катушек с различным числом витков должно быть не более 4.

Осевой размер l_2 окончательно размещенной обмотки после ее опрессовки должен быть равен ранее определенной величине $l_2 = l_1$ по формуле:

$$l_2 = \sum h_{\text{кат}} + k\left(\sum h_{\text{к}} + \sum \delta_{\text{ш}}\right) \ (см), \tag{26}$$

где $k = 0{,}94—0{,}96$.

Внутренний диаметр обмотки (*см*) будет равен $D'_2 = D''_1 + 2a_{12}$, а наружный $D''_2 = D'_2 + 2a_2$ (*см*).

Расстояние a_{22} между обмотками ВН соседних стержней выбирают по таблице 87.

Расстояние между осями соседних стержней (в *см*) равно $c = D_2 + a_{22}$. Размер c округляют до 0,5—1,0 *см*.

Результаты расчета обмотки сравнивают с обмоточными данными заводов-изготовителей (табл. 90).

Обмоточные данные трансформаторов

№№ п/п	Тип	Высшее напряжение	Низшее напряжение	Ток	Схема соединения	Размеры магнитопровода: диаметр сердечника (в *мм*)	расстояние между осями (в *мм*)	высота окна (в *мм*)	индукция в сердечнике (в *гс*)
1	ТМ20/6	6000	230	1,93/50,2	Y/Y_0—12	120	245	160	11 250
2	ТМ20/6	6000	400	1,93/28,9	Y/Y_0—12	120	245	160	11 300
3	ТМ20/6	6000	230	1,93/50,2	Y/Y_0—12	115	210	200	12 150
4	ТМ30/6	6300	220	2,75/78,7	Δ/Y—Δ 11—12	115	210	240	13 100
5	ТМ30/6	6000	400	2,89/43,3	Y—Δ/Y_0—12	120	245	190	12 000
6	ТМ30/6	6000	230	2,89/75,3	Δ/Y_0	110	210	350	13 850
7	ТМ30/6	6500	123	2,66/141	Y/Y	115	210	240	14 150
8	ТМ30/6	6300	400	2,75/43,3	Δ/Y—Δ 11—12	115	210	240	13 050
9	ТМ30/6	6000	230	2,89/75,3	Y/Y—12	115	210	240	13 000
10	ТМ50/6	6000	400	4,81/72,2	Y/Y—12	130	260	215	13 450
11	ТМ50/6	6000	230	4,81/125,5	Y/Y—12	127	260	215	14 350
12	ТМ50/6	6300	220	4,58/131	Y/Y—12	130	230	240	13 850
13	ТМ50/6	6300	220	4,58/131	Y/Y—12	130	260	215	13 550
14	ТМ75/6	6000	230	7,22/188,5	Y/Y_0—12	140	280	225	14 200
15	ТМ75/6	6000	400	7,22/108	Y/Y_0—12	140	280	225	14 300
16	ТМ75/6	6500	123	6,2/328	Y/Y_0—12	130	230	340	14 800
	ТМ75/6	6300	220	6,8/197	Δ/Y_0	130	230	340	14 550
	ТМ75/6	6000	400	7,21/108	Y/Y_0—12	130	230	340	14 500
17	ТМ75/6	6000	400	7,21/108	Δ/Y_0—11	130	230	340	
18	ТМ100/6	6000	400	9,62/144,5	Y/Y_0—12	155	290	225	14 250
19	ТМ100/6	6000	230	9,62/251	Y/Y_0—12	155	290	225	14 350
20	ТМ100/6	6000	400	9,62/144,5	Y/Y_0—12	160	290	225	13 000
21	ТМ100/6	6000	400	9,64/144,5	Y/Y_0—12	150	250	320	14 350
22	ТМ100/6	6000	230	9,64/251	Δ/Y—11	150	250	320	14 200
23	ТМ100/6	6300	220	9,16/262	Y/Y—Δ 11—12	150	250	320	14 500
24	ТМ100/6	6500	225	8,8/256,5	Y/Y_0—12	150	250	320	14 300
25	ТМ100/6	6300	400	9,16/144,5	Y/Y_0—12	160	290	225	13 000
26	ТМ100/6	6300	220	9,16/262	Y/Y_0—12	160	290	225	13 250
27	ТМ135/6	6000	230	13/339	Δ/Y_0—12	150	250	430	14 650
28	ТМ135/6	6000	230	13/339	Y/Y_0—12	160	295	285	14 300
29	ТМ135/6	6000	400	13/195	Y/Y_0—12	160	295	285	14 400
30	ТМ180/6	6000	400	17,3/260	Y/Y_0—12	186	290	360	14 350

МТЗ 1—3 габаритов (до 560 *ква*)

Число витков: обмотка ВН	Число витков: обмотка НН	Тип обмотки	Размеры и вес меди: обмотка ВН: диаметр (в *мм*)	Размеры и вес меди: обмотка ВН: вес (в *кг*)	Размеры и вес меди: обмотка НН: сечение (в *мм*²)	Размеры и вес меди: обмотка НН: вес (в *кг*)	Число параллельных витков	Размеры цилиндров обмоток ВН (в *мм*)
1698	62	Циливдрическая	∅ 0,93	19,8	3,8 × 5,1	14,8	1	∅ 165/170 × 152
1685	107	»	∅ 0,93	19,8	2,1 × 5,1	13,9	1	∅ 165/170 × 152
1726	63	Секционная	∅ 0,93	18,6	2,1 × 4,4	12,9	2	∅ 150/155 × 190
1680	56	»	∅ 1,08	25,0	3,28 × 4,4	10,0	2	∅ 150/155 × 230
					2,83 × 4,4	8,0		
1512	96	Цилиндрическая	∅ 1,12	26,4	2,83 × 5,1	16,8	1	∅ 165/170 × 182
3226	68	Секционная	∅ 0,86	30,0	4×5; 3,5×5	15	2	∅ 150/154 × 330
						13		
1603	29	»	∅ 1,08	23,5	6,9 × 4,4	10,3	2	∅ 150/155 × 230
					5,1 × 4,4	8,0		
2914	102	»	∅ 0,86	28,0	3,28 × 4	16,5	1	∅ 150/155 × 230
1618	59	»	∅ 1,16	27,3	5,9 × 4,4	16,6	1	∅ 150/155 × 230
1213	77	Цилиндрическая	∅ 1,35	33,0	4,4 × 5,1	22,5	1	∅ 180/185 × 207
1205	44	»	∅ 1,35	33,0	8,0 × 5,1	24,0	1	∅ 180/185 × 207
1260	42	Секционная	∅ 1,45	37,0	2,44 × 5,1	13,1	2	∅ 160/145 × 230
					2,83 × 5,1	8		
1260	42	Цилиндрическая	∅ 1,35	34,5	8,0 × 5,1	23,8	1	∅ 180/185 × 207
986	36	»	∅ 1,68	45	10 × 5,1	28	1	∅ 195/200 × 217
977	62	»	∅ 1,68	45	5,9 × 5,1	28	1	∅ 195/200 × 217
1218	22	Секционная	∅ 1,68	48	6 × 10	32,5	2	∅ 170/145 × 330
2079	40	»	∅ 1,25	45	6,9 × 5,1	35	2	∅ 170/145 × 330
1150	73	»	∅ 1,68	44,2	3,28 × 5,1	31,0	2	∅ 170/175 × 330
1990	73	»	∅ 1,35	50	3,28 × 5,1	31	2	∅ 170/175 × 330
804	51	Цилиндрическая	∅ 1,88	48,5	6,9 × 5,1	29	1	∅ 210/215 × 217
794	29	»	∅ 1,88	48	12,5 × 5,1	31	1	∅ 210/215 × 217
819	52	»	∅ 1,88	49	6,9 × 5,1	29	1	∅ 210/215 × 221
866	55	Секционная	∅ 1,95	49,5	9,3 × 3,8	27,6	1	∅ 190/196 × 310
1518	32	»	∅ 1,45	48	5,9 × 4,4	12	1	∅ 190/196 × 310
					9,3 × 4,4	18	1	
900	30	»	∅ 1,95	52	8 × 4,4	30	2	∅ 190/196 × 310
937	31	»	∅ 1,95	54	8 × 4,4	31	2	∅ 190/196 × 310
858	52	Цилиндрическая	∅ 1,81	47,5	6,9 × 5,1	29	1	∅ 210/215 × 221
840	28	»	∅ 1,81	46,5	12,5 × 5,1	28,5	1	∅ 210/215 × 221
1471	31	»	∅ 1,8	73	10 × 3,8	17	1	∅ 190/196 × 420
					12,5 × 3,8	21		
712	26	»	∅ 2,1	55	8 × 5,5	30	2	∅ 220/226 × 265
709	45	»	∅ 2,1	55	9,3 × 5,1	35	1	∅ 220/226 × 265
551	35	Секционная	∅ 2,44	60	3,8 × 9,3	44	2	∅ 225/231 × 345

№№ п/п	Тип	Высшее напряжение	Низшее напряжение	Ток	Схема соединения	Размеры магнитопровода: диаметр сердечника (в *мм*)	расстояние между осями (в *мм*)	высота окна (в *мм*)	индукция в сердечнике (в *гс*)
31	ТМ180/6	6000	400	17,3/260	Y/Y₀—12	190	335	286	13 100
32	ТМ180/6	6000	230	17,3/452	Y/Y₀—12	190	335	286	12 900
33	ТМ180/6	6000	230	17,3/452	Y/Y₀—12	170	310	300	14 300
34	ТМ180/6	6000	400	17,3/260	Y/Y₀—12	170	310	300	14 300
35	ТМ240/6	6000	400	17,3/260	Y/Y₀—12	185	330	320	14 700
36	ТМ240/6	6000	230	23,1/602	Y/Y₀—12	185	330	320	14 700
37	ТМ240/6	6000	400	23,1/346	Y/Y₀—12	186	290	460	14 350
38	ТМ240/6	6000	230	30,8/803	Y/Y₀—12	195	345	370	14 600
39	ТМ240/6	6000	400	30,3/462	Y/Y₀—12	195	345	370	14 400
40	ТМ240/6	6300	400	29,3/462	Y/Y₀—12	200	345	410	14 300
41	ТМ240/6	6000	400	30,8/462	Y/Y₀—12	200	345	410	14 300
42	ТМ420/6	6000	400	40,4/606	Δ/Y₀—11	210	325	600	14 700
43	ТМ560/6	6000	400	54/808	Y/Y₀—12	210	325	750	13 450
44	ТМ560/6	6000	400	54/808	Y/Y₀—12	210	325	750	14 700
45	ТМ560/6	6000	230	54/1405	Y/Y₀—12	230	380	540	14 200
46	ТМ560/6	6300	400	51,3/800	Y/Y₀—12	230	320	540	13 950

Примечания. 1. Обмоточные провода круглого сечения — марки ПБ; напряжению +5%.

Продолжение

Число витков		Тип обмотки	Размеры и вес меди				Число параллельных витков	Размеры цилиндров обмоток ВН (в мм)
			обмотка ВН		обмотка НН			
обмотка ВН	обмотка НН		диаметр (в мм)	вес (в кг)	сечение (в мм²)	вес (в кг)		
567	36	Цилиндрическая	⌀ 2,24	67	11,6 × 5,1	40	1	⌀245/251 × 265
575	21	»	⌀ 2,44	68	10 × 5,1	40	2	⌀243/249 × 265
630	23	»	⌀ 2,44	69	10 × 5,1	21,5	1	
					9,3 × 5,1	20	1	⌀230/236 × 280
630	40	»	⌀ 2,44	69	11,6 × 5,1	40	1	⌀230/236 × 280
520	33	»	⌀ 2,83	82,5	8 × 5,1	26	1	
					6,4 × 5,1	20,5	1	⌀250/256 × 300
521	19	»	⌀ 2,83	82,5	3 × 5,5	50	3	⌀250/256 × 300
551	35	Секционная	⌀ 2,65	70	5,1 × 10	61,5	2	⌀225/229 × 445
465	17	Цилиндрическая	⌀ 3,28	102	10,8 × 5,5	63	3	⌀260/266 × 350
473	30	»	⌀ 3,28	104	10,8 × 5,5	36	1	
					8 × 5,5	26	1	⌀260/226 × 350
495	30	Непрерывная	⌀ 5,1 × × 1,56	105	10 × 5,1	30,5	1	
					10,8 × 5,1	33		⌀260/226 × 390
473	30	»	⌀ 5,1 × × 1,68	108	10,8 × 5,1	66,5	2	⌀260/226 × 390
736	27	Секционная	⌀ 2,63	100	5,9 × 10,8	68	2	
					5,1 × 10,8	30	1	⌀255/261 × 580
441	28	Цилиндрическая	⌀ 2,44 × × 5,9	160	10,8 × 6,9	82,5	2	
					10,8 × 8	48	1	⌀255/261 × 730
425	27	Непрерывная	⌀ 6,9 × × 2,1	155	4,4 × 10,8	105	4	⌀255/261 × 730
					3,8 × 10,8	22	1	
356	13	»	⌀ 6,9 × × 2,44	174	10,8 × 5,1	64	2	⌀290/296 × 508
					10,8 × 5,1	30	1	
379	23	»	⌀ 6,9 × × 2,44	186	9,3 × 5,1	97	1	⌀290/296 × 508

прямоугольные — марки ПББО. 2. Число витков обмотки ВН соответствует

Глава VII

НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ

Нормы расхода материалов и запасных частей на ремонт электродвигателей, генераторов и трансформаторов, дифференцированные в зависимости от их мощности, приведены в таблицах 91, 92 и 93.

1. НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА РЕМОНТ АСИНХРОННЫХ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Таблица 91

Наименование материалов и запасных частей	Единица измерения	Мощность электродвигателя (в *квт*)				
		до 1,5	до 5	до 10	до 20	до 30
		количество				
Черные металлы и материалы						
Чугунное литье	*кг*	0,15	0,25	0,30	0,40	0,50
Сталь конструкционная углеродистая	»	0,30	0,60	0,72	0,84	1,00
Сталь листовая	»	0,07	0,15	0,18	0,21	0,25
Проволока сварочная	»	0,023	0,05	0,06	0,07	0,08
Проволока бандажная	»	0,01	0,02	0,024	0,028	0,033
Жесть белая	»	0,004	0,010	0,015	0,022	0,028
Цветные металлы и материалы						
Бронза	*кг*	0,06	0,12	0,14	0,22	0,27
Медь чушковая, листовая и профильная	»	0,003	0,007	0,008	0,010	0,012
Латунь листовая и профильная	»	0,001	0,003	0,0036	0,0042	0,005
Припой ПОС-30 или ПОС-40	»	0,004	0,020	0,023	0,037	0,046
Электроды угольные	»	0,004	0,012	0,018	0,026	0,033
Баббит	»	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
Твердая изоляция						
Гетинакс	*м*	0,045	0,10	0,12	0,14	0,165
Изоляционные (линоксиновые) трубки	»	0,69	1,5	3,35	5,50	6,80
Лакоткань хлопчатобумажная (ширина 700 *мм*)	»	0,15	0,55	0,65	1,45	1,55

Продолжение

Наименование материалов и запасных частей	Единица измерения	Мощность электродвигателя (в *квт*)				
		до 1,5	до 5	до 10	до 20	до 30
		количество				
Бумага						
Бумага кабельная	*кг*	0,03	0,11	0,126	0,20	0,25
Картон электроизоляционный (прессшпан)	»	0,20	0,30	0,50	0,80	1,00
Текстиль и другие материалы						
Пряжа хлопчатобумажная	*м*	0,15	0,48	0,55	0,66	0,8
Шпагат ⌀ 2 *мм*	»	0,015	0,025	0,030	0,045	0,050
Лента киперная	»	6	12	16	22	30
» тафтяная	»	4	8	11	15	20
Нитки хлопчатобумажные, кардонитки	*кг*	0,014	0,026	0,057	0,07	0,09
Обтирочный материал	»	0,15	0,30	0,36	0,45	0,50
Кабельные изделия						
Провод обмоточный	*м*	3,1	8,2	12,5	18,5	23,5
Провод изолированный ПРГ	»	1,3	2,8	3,2	3,8	4,5
Химические материалы						
Лак изоляционный пропиточный	*кг*	0,45	1,00	1,15	1,50	1,85
Лак изоляционный покровный	»	0,11	0,50	0,57	0,92	1,15
Эмаль серая № 2062	»	0,10	0,20	0,27	0,35	0,40
Грунтовка № 138	»	0,037	0,075	0,10	0,125	0,15
Шпакленка лаковая	»	0,01	0,02	0,027	0,035	0,040
Кислород	$м^3$	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Карбид кальция	*кг*	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09
Стекло жидкое	»	0,001	0,001	0,002	0,004	0,006
Топливо, нефтемасла и нефтепродукты						
Керосин	*л*	0,10	0,20	0,27	0,35	0,40
Скипидар	»	0,15	0,30	0,36	0,45	0,50
Бензин	»	0,022	0,045	0,065	0,075	0,085
Уайт-спирит	»	0,07	0,14	0,19	0,24	0,27
Масло машинное	»	0,05	0,10	0,135	0,17	0,195
Смазка УТВ-1-13	»	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Солидол	»	0,025	0,05	0,06	0,07	0,08
Парафин белый и желтый	»	0,007	0,015	0,018	0,021	0,025
Комплектовочные и другие детали и материалы						
Шариковые и роликовые подшипники	*шт.*	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Подъемные кольца (рымы)	»	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Кабельные наконечники	»	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Пиломатериал (буковый)	$м^3$	0,001	0,002	0,0035	0,008	0,011

2. НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА РЕМОНТ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И ИХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ

Таблица 92

Нормы расхода материалов и запасных частей на ремонт синхронных генераторов и их возбудителей

Наименование материалов и запасных частей	Единица измерения	Мощность генератора (в *квт*)			
		до 15	15—35	35—60	60—150
		количество			
Черные металлы и материалы					
Чугунное литье	*кг*	0,70	0,35	0,95	2,50
Сталь конструкционная углеродистая	»	0,90	1,00	1,57	2,85
Сталь листовая	»	0,17	0,29	0,80	1,60
Проволока стальная сварочная (ГОСТ 2246—54)	»	0,07	0,08	0,96	1,08
Проволока бандажная	»	0,35	0,46	0,55	0,70
Жесть белая	»	0,025	0,036	0,050	0,082
Проволока стальная марки ОВС	»	0,016	0,026	0,041	0,080
Гвозди проволочные	»	0,018	0,025	0,040	0,045
Цветные металлы и материалы					
Бронзовое литье	*кг*	0,25	0,36	0,57	0,77
Медь чушковая листовая и профильная	»	0,18	0,29	0,42	0,60
Латунь чушковая, листовая и профильная	»	0,05	0,06	0,09	0,15
Припой ПОС-30	»	0,07	0,08	0,09	0,10
» ПОС-40	»	0,11	0,13	0,20	0,50
Щетки и электроды					
Медно-графитные щетки	*шт.*	0,02	0,03	0,05	0,07
Бронзово-графитные »	»	0,02	0,03	0,04	0,06
Электрографитные »	»	0,015	0,02	0,03	0,05
Графитные »	»	0,015	0,02	0,03	0,05
Угольно-графитные »	»	0,012	0,018	0,025	0,04
Электроды угольные	»	0,020	0,30	0,35	0,45
Твердая изоляция					
Гетинакс листовой	*м*	0,15	0,17	0,20	0,30
Изоляционные (линоксиновые, хлорвиниловые) трубки	»	1,80	2,50	2,80	3,1
Лакоткань хлопчатобумажная (ширина 700 *мм*)	»	2,75	3,15	3,55	4,15
Лента изоляционная	*кг*	0,015	0,017	0,020	0,030
Резиновые или эбонитовые трубки	»	0,025	0,033	0,045	0,062
Формовочный миканит	»	0,30	0,55	0,63	0,90
Коллекторный миканит	»	0,50	0,92	1,20	1,60
Микалента	»	0,50	0,55	0,65	0,82
Асбестовый шнур	»	0,050	0,062	0,073	0,081
Бумага					
Бумага кабельная	*кг*	0,20	0,25	0,32	0,45
Картон электроизоляционный (прессшпан)	»	0,35	0,42	0,53	0.64
Бумага конденсаторная	»	0,08	0,11	0,15	0.22
Бумага асбестовая	»	0,32	0,45	0,66	0,94

Наименование материалов и запасных частей	Единица измерения	Мощность генератора (в *квт*)			
		до 15	15—35	35—60	60—150
		количество			
Текстиль и другие материалы					
Пряжа хлопчатобумажная	*кг*	0,75	0,88	0,95	1,20
Шпагат	»	0,025	0,032	0,045	0,056
Лента киперная	*м*	28,0	32,0	36,0	40,0
» тафтяная	»	30,0	34,0	38,0	44,0
Нитки хлопчатобумажные, кардонитки	*кг*	0,075	0,08	0,085	0,095
Обтирочный материал	»	0,75	0,85	0,92	1,00
Стеклянная шкурка на полотне	*м*²	0,30	0,40	0,50	0,60
Кабельные изделия					
Провод обмоточный	*кг*	28,00	35,00	48,00	56,0
Провод изолированный ПРГ	»	4,50	5,60	6,40	7,20
Химические материалы					
Лак изоляционный пропиточный № 458 и др.	*кг*	4,00	4,50	5,00	5,00
Лак изоляционный покровный № 462 и др.	»	2,00	2,50	3,00	3,50
Эмаль серая № 2062	»	0,35	0,40	0,45	0,50
Грунтовка № 138	»	0,135	0,160	0,175	0,190
Жидкое стекло	»	0,02	0,04	0,07	0,10
Кислород	*м*³	0,07	0,09	0,09	0,10
Карбид кальция	*кг*	0,06	0,08	0,08	0,10
Топливо, нефтемасла и нефтепродукты					
Керосин	*л*	0,60	0,75	0,85	1,30
Скипидар	»	0,70	0,82	0,95	1,50
Бензин	»	0,80	0,85	0,90	1,20
Уайт-спирит	»	1,20	1,50	2,00	2,50
Масло машинное	»	0,18	0,20	0,22	0,35
Смазка УТВ-1-13	»	0,35	0,40	0,45	0,52
Солидол	»	0,08	0,09	0,095	0,12
Парафин белый и желтый	»	0,70	0,75	0,85	0,90
Канифоль	»	0,002	0,003	0,004	0,005
Комплектовочные и другие детали и материалы					
Шариковые и роликовые подшипники	*шт.*	2	2	2	2
Подъемные кольца (рым-болты)	»	0.5	0.5	0,5	0.5
Кабельные наконечники	»	0,7	0,7	0,7	0,7
Клинья деревянные	*м*	5,0	6,0	7,0	8,0
Крепежные материалы (болты, гайки-шпильки, заклепки и др.)	*шт.*	8,9	8,9	8,9	8,9

3. НОРМЫ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА РЕМОНТ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Таблица 93

Нормы расхода материалов и запасных частей на ремонт силовых трансформаторов

Наименование материалов и запасных частей	Единица измерения	Мощность трансформатора (в *ква*)					
		10	20	30	50	100	180
		количество					
Черные металлы и материалы							
Сталь листовая	*кг*	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,5
» сортовая	»	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Трубы	»	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
Метизы разные	»	1,0	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Цветные металлы и материалы							
Медь ленточная	*кг*	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,40
Медь круглая	»	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00
Латунь шестигранная	»	0,40	0,45	0,50	0,50	0,65	0,75
Припой медно-фосфористый ПМФ-1	»	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Припой оловянно-свинцовый ПОС-40	»	0,005	0,007	0,025	0,04	0,05	0,06
Твердая изоляция							
Трубки бумажно-бакелитовые	*м*	0,12	0,14	0,15	0,18	0,20	0,25
Лакоткань	»	0,06	0,08	0,1	0,15	0,18	0,2
Текстиль и другие материалы							
Лента киперная	*м*	70	80	80	110	200	200
» тафтяная	»	8,0	12	21	22	43	44
Обтирочный материал	*кг*	0,5	0,5	0,8	1,2	1,7	2,0
Резино-асбестовые изделия							
Резина листовая	*кг*	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0
Пробка листовая	»	0,5	0,55	0,60	0,65	0,75	0,9
Асбест шнуровой	»	—	—	—	0,03	0,04	0,1
» листовой	»	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0
Нефтепродукты							
Масло трансформаторное	*л*	130	160	180	290	360	425
Керосин	»	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
Бензин	»	0,5	1	1,5	2,0	3,0	4,0
Химические материалы							
Хлористый магний	*кг*	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25
Магнезиальный цемент	»	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Кислород	$м^3$	0,2	0,3	0,6	1,2	1,5	2,0
Карбид кальция	*кг*	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
Эмаль № 624с	»	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2
Разбавитель № 646	»	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2
Лак бакелитовый 60%	»	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Лак № 1154	»	1,8	2,2	2,65	2,80	3,0	4,5
Краска	»	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,0
Разбавитель для краски	»	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5
Стекло жидкое	»	0,02	0,03	0,06	0,09	0,10	0,12

Продолжение

Наименование материалов и запасных частей	Единица измерения	Мощность трансформатора (в *ква*)					
		10	20	30	50	100	180
		количество					
Кабельные изделия							
Провод обмоточный	*кг*	30	45	54	75	88	120
Шины медные	»	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Бумага							
Бумага кабельная для изоляции обмоточной меди	*кг*	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
Бумага кабельная для изоляции отводов	»	1,40	1,45	1,55	1,65	1,8	1,95
Бумага фильтровальная	»	0,35	0,40	0,45	0,5	0,6	0,7
Бумага для оклейки электростали	»	0,4	0,6	0,9	1,4	2,4	3,0
Комплектовочные и другие детали и материалы							
Изоляторы	*шт.*	3	3	3	3	3	3
Бук	$м^3$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Фарфоровая мука	*кг*	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев П. С. Электрические машины, Госэнергоиздат, 1955.
2. Гинцбург Е. Л. Ремонт и эксплуатация подшипников электрических машин, Госэнергоиздат, 1953.
3. Шац Е. Л. Ремонт электрических машин и трансформаторов, Сельхозгиз, 1953
4. Шац Е. Л. Эксплуатация сельских установок, Сельхозгиз, 1957.
5. Коварский Е. М. Ремонт электрических машин, Госэнергоиздат, 1958.
6. Материалы ГОСНИТИ. Типовая технология ремонта силового электрооборудования, издание 1957—1958 гг.
7. Луцык В. И. Ремонт электродвигателей и генераторов, Машгиз, 1951.
8. Справочник электромонтера. Монтаж силового электрооборудования, Госэнергоиздат, 1953.
9. Карасев М. Ф. Коммутация машин постоянного тока, Госэнергоиздат, 1955.
10. Виноградов Н. В. Электрослесарь по ремонту и монтажу промышленного электрооборудования, Трудрезервиздат, 1957.
11. Павлычев Л. Е. Эксплуатация электросилового оборудования малой мощности, Росгизместпром, 1952.
12. Автономов Е. А. Ремонт асинхронных двигателей средней мощности, Госэнергоиздат, 1950.
13. Сухоруков Ф. Т. Технология обмоточно-изоляционного производства, Госэнергоиздат, 1951.
14. Андриевский С. К. и Шапиро М. Н. Ремонт электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры, Госэнергоиздат, 1957.
15. Слоним Н. М. Передовые технологические методы ремонта электродвигателей, ВНИТОЭ, 1955.
16. Слоним Н. М. Технология ремонта электродвигателей нормальной серии, Металлургиздат, 1953.
17. Аскинази А. И. Расчеты нормальных асинхронных электродвигателей при их перемотках, Металлургиздат, 1953.
18. Мещеряков В. В. и Ченцов Н. М Пересчет электрических машин и таблицы обмоточных данных, Госэнергоиздат, 1950.
19. Зимин В. И., Каплан М. Я., Ханкен П. А. и др. Обмотки электрических машин, Госэнергоиздат, 1954.
20. Виноградов Н. В. Обмотки электрических машин, Трудрезервиздат, 1958.
21. Антипов К. Ф. Восстановление обмоточных проводов, Госэнергоиздат, 1951.
22. Галитовский В. Г. Реставрация обмоточных проводов, Металлургиздат, 1954.
23. Виноградов Н. В. Намотка катушек и секций электрических машин и аппаратов, Госэнергоиздат, 1953.

24 Федоров А. А. и Кузнецов П. В. Справочник электрика промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1954.
25 Шац Е. Л. Ремонт асинхронных электродвигателей и трансформаторов, БТИ МПСМ СССР, 1949.
26. Ивашев В. В. Ремонт трансформаторов, Госэнергоиздат, 1957.
27. Ходорович М. А., Лернер Ф. М., Лотоцкий К. В., Волошенко В. А. и Петров И. В. Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственных электрических установок, Сельхозгиз, 1955.
28. Долин П. А. Ремонт трансформаторов, Издательство МКХ РСФСР, 1958.
29. Сапожников А. В. Конструирование трансформаторов, Госэнергоиздат, 1954.
30. Жерве Г. К. Испытание электромашин и трансформаторов, Госэнергоиздат, 1955.
31. Жерве Г. К. Расчет машин постоянного тока при перемотке, Госэнергоиздат, 1952.
32. Планово-предупредительный ремонт энергетического оборудования промышленных предприятий (временные руководящие указания), Госэнергоиздат, 1955.
33. Карты технологического процесса на ремонт трехфазных асинхронных двигателей, «Энергоремтрест», г. Москва, 1958.
34. Бавнов С. Е. Ремонт электрооборудования металлургических заводов, Металлургиздат, 1957.

СОДЕРЖАНИЕ